

# **Problematika stárnutí střešních hydroizolačních folií na bázi TPO**

Bc. Zuzana Navrátilová

---

Diplomová práce  
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2008/2009

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Zuzana NAVRÁTILOVÁ**

Studijní program: **N 2808 Chemie a technologie materiálů**

Studijní obor: **Inženýrství polymerů**

Téma práce: **Problematika stárnutí střešních hydroizolačních folií na bázi TPO**

Zásady pro vypracování:

### 1. Současný stav řešené problematiky

- | Termoplastické elastomery na bázi polyolefinů (TPO) a jejich využití při výrobě hydroizolačních fólií (HIF)
- | UV stabilizace polyolefinových materiálů se zaměřením na systémy s retardéry hoření na bázi Br
- | Povětrnostní stárnutí plastů

### 2. Výroba střešních HIF technologií vytlačování

- | Laboratorní linka Dr. Collin
- | Provozní linka Berstorff

### 3. Expozice vzorků střešních HIF urychlenému povětrnostnímu stárnutí

- | QUV Tester
- | Xenotest

### 4. Vyhodnocení fyzikálních a mechanických změn exponovaných střešních HIF

- | Koloristické zkoušky
- | Tahové zkoušky
- | DMA

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. J. Mleziva: *Polymery -- struktura, vlastnosti a použití*, Sobotáles, Praha, 1993
2. *Handbook of Thermoplastic Elastomers -- edited by Benjamin M. Walker*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, ISBN 0--442--29163--9
3. J. G. Drobny: *Handbook of Thermoplastic Elastomers*, William Andrew Inc., New York, 2007, ISBN 978--0--8155--15494
4. V. Ducháček: *Polymery -- výroba, vlastnosti, zpracování, použití*, 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha, 2006, ISBN 80-7080-617-6.
5. J. Štěpek, J. Zelinger, A. Kuta: *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*, SNTL/ALFA, Praha, 1989, ISBN 04--602--89

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.**

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání diplomové práce: **11. února 2009**

Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2009**

Ve Zlíně dne 11. února 2009

  
doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*vedoucí katedry*

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá problematikou speciálních směsí na bázi termoplastických polyolefinů, obecně popisuje také jejich přípravu, vlastnosti a aplikace v náročných podmínkách, zejména jako izolaci proti vodě. Dále se v praktické části zabývá jejich mechanickou a dynamickou odolností a urychlenému UV stárnutí. Popisuje vzájemné vztahy mezi UV stabilizací a životností folie v aplikacích.

Klíčová slova: polyolefiny, folie, povětrnostní stárnutí, změna barevnosti, UV stabilizace

## **ABSTRACT**

The Master thesis is focused on thermoplastic polymer blends based on polyolefins. Mainly their preparation, properties and applications in severe conditions, particularly as isolation against water. Attention is paid to their mechanical and dynamic resistivity and accelerated UV ageing. Interrelations between UV stabilization and durability of the films in applications are studied.

Keywords: polyolefins, films, weathering, UV stabilization, colouring change

Pověz mi a zapomenu, ukaž mi a já si vzpomenu, ale nech mne se zúčastnit a já pochopím.

Konfucius

Chtěla bych velmi poděkovat panu Romanu Čermákovi a Petru Mertlíkovi za odbornou pomoc a podporu při tvorbě této práce. Dále velmi děkuji mé rodině, příteli a kamarádům za strpení s mou pracovní vytížeností a veškerou podporu.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uvedena jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala.

Ve Zlíně, 20. 05. 2009

.....

Podpis

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 TERMOPLASTICKÉ POLYOLEFINICKÉ ELASTOMERY</b> .....	<b>11</b>
1.1    DEFINICE ROZDÍLŮ MEZI TERMOPLASTY, ELASTOMERY A TERMOPLASTICKÝMI ELASTOMERY .....	12
1.2    VÝHODY A NEVÝHODY TPO .....	13
1.2.1    Svažitelnost.....	13
<b>2 SUROVINY PRO VÝROBU TPO</b> .....	<b>15</b>
2.1    POLYPROPYLEN .....	15
2.2    POLYETYLEN .....	16
2.3    ETYLEN/PROPYLENOVÝ A ETYLEN/PROPYLEN/DIENOVÝ KAUČUK .....	17
<b>3 STRUKTURA TPO</b> .....	<b>19</b>
<b>4 PŘÍPRAVA TPO</b> .....	<b>21</b>
4.1    CATALLOY PROCES.....	23
<b>5 VLASTNOSTI TPO FOLIÍ</b> .....	<b>24</b>
5.1    FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI.....	25
<b>6 POVĚTRNOSTNÍ STÁRNUTÍ TPO FOLIÍ</b> .....	<b>27</b>
6.1    FAKTORY STÁRNUTÍ .....	28
6.1.1    Ultrafialové záření.....	28
6.1.2    Vliv kyslíku .....	29
6.1.3    Vliv ozonu .....	29
6.1.4    Účinky vody .....	29
6.1.5    Vliv tepla.....	30
6.1.6    Účinky ostatních faktorů .....	30
<b>7 UV STABILIZACE TPO FOLIÍ</b> .....	<b>31</b>
7.1    UV STABILIZÁTORY .....	31
<b>8 SLOŽENÍ STŘEŠNÍ FOLIE</b> .....	<b>33</b>
8.1    LÍCOVÁ VRSTVA .....	33
8.2    RUBOVÁ VRSTVA.....	33
8.3    VÝZTUŽNÁ VRSTVA.....	33
<b>9 TECHNOLOGICKÉ POSTUPY VÝROBY STŘEŠNÍCH FOLIÍ</b> .....	<b>35</b>
9.1    VYTlačOVÁNÍ .....	35
9.1.1    Vytlačovací stroj.....	36
9.1.2    Plochá vytlačovací hlava .....	37
9.1.3    Laboratorní linka Dr. Collin.....	37
9.1.4    Provozní linka Berstorff .....	40

9.2	VÁLCOVÁNÍ.....	42
<b>II</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>	<b>44</b>
<b>10</b>	<b>TESTOVANÉ VLASTNOSTI TPO FOLÍÍ.....</b>	<b>45</b>
10.1	URYCHLENÉ POVĚTRNOSTNÍ STÁRNUTÍ .....	45
10.1.1	Provedení experimentu.....	45
10.2	ZMĚNA BAREVNOSTI .....	46
10.2.1	Provedení měření barevnosti.....	47
10.3	TAHOVÉ ZKOUŠKY.....	47
10.3.1	Provedení tahové zkoušky.....	48
10.4	HMOTNOSTNÍ ÚBYTEK PŘI URYCHLENÉM STÁRNUTÍ .....	48
10.4.1	Provedení pokusu .....	48
<b>11</b>	<b>POUŽITÉ VZORKY.....</b>	<b>50</b>
11.1	VZORKY PRO URYCHLENÉ STÁRNUTÍ V XENOTESTU, BAREVNOST A ÚBYTEK HMOTNOSTI .....	51
11.1.1	Receptura Br 13/2 (vzorek č.1) .....	52
11.1.2	Receptura Br 13/3 (vzorek č. 2) .....	54
11.1.3	Receptura vzorku Br 13/1 (vzorek č. 3).....	55
11.1.4	Obecná receptura folie Br 13/V1 (vzorek 5).....	56
11.1.5	Receptura folie FBr 13/V1 (vzorek 6).....	57
11.1.6	Receptura folie FBr 13/V3 (vzorek 7).....	58
11.1.7	Měkčené PVC 1 (rámeček 8) .....	59
11.1.8	Měkčené PVC 2 (vzorek 4 a 5 ze sady 2) .....	59
11.2	VZORKY PRO URYCHLENÉ STÁRNUTÍ V QUV TESTERU .....	60
11.3	VZORKY PRO TAHOVÉ ZKOUŠKY .....	60
<b>12</b>	<b>POUŽITÉ PŘÍSTROJE.....</b>	<b>61</b>
12.1	QUV TESTER .....	61
12.2	XENOTEST .....	62
12.3	PŘÍSTROJ PRO MĚŘENÍ BAREVNOSTI – HUNTER LAB ULTRA SCAN D65.....	63
12.4	PŘÍSTROJ PRO TAHOVÉ ZKOUŠKY – INSTRON 4301 .....	64
<b>III</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE .....</b>	<b>65</b>
<b>13</b>	<b>VYHODNOCENÍ ZMĚNY BAREVNOSTI.....</b>	<b>66</b>
13.1	VYHODNOCENÍ SADY 1.....	66
13.2	VYHODNOCENÍ SADY 2.....	72
13.3	VYHODNOCENÍ VZORKŮ Z QUV TESTERU.....	76
<b>14</b>	<b>VYHODNOCENÍ TAHOVÉ ZKOUŠKY.....</b>	<b>80</b>
14.1	VYHODNOCENÍ VZORKŮ SADY 1 A 2 .....	80
14.2	VYHODNOCENÍ VZORKŮ Z QUV TESTERU.....	84
<b>15</b>	<b>ÚBYTEK HMOTNOSTI.....</b>	<b>90</b>

15.1	VYHODNOCENÍ SADY 1 .....	90
15.2	VYHODNOCENÍ SADY 2 .....	93
15.3	ÚBYTEK HMOTNOSTI VZORKŮ Z QUV TESTERU .....	96
<b>16</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>100</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>104</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>106</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>108</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>110</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>111</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>114</b>



## ÚVOD

V posledních dvou desetiletích se rapidně změnil životní styl, lidské preference i fungování ekonomiky. S tím souvisí značný rozvoj různých odvětví, která byla dříve velmi okrajová. Jedním z těchto oborů je i plastikářský průmysl. Člověk je totiž tvor velmi pohodlný a pro své pohodlí a ulehčení práce, případně prospěch je schopen vymyslet řadu užitečných věcí. Zejména kvůli výdělku z důvodu stále rostoucích cen všech klasických komodit jako je práce, ale i materiály jsme nyní ze všech stran obklopeni poněkud mladými materiály – plasty.

Plasty jsou nyní velmi rozšířené a díky specifickým vlastnostem ve srovnání s klasickými materiály tvoří samostatnou odnož průmyslu. V dnešní době se používají na širokou škálu běžných i speciálních aplikací. Jednotlivé aplikace velmi závisí na typu polymeru, příměsích, technologii a podmínkách zpracování. Velký rozvoj a rozšíření množství aplikací zažil i stavební průmysl. Není to důsledkem pouze snižování cen staveb, ale také unikátními vlastnostmi plastů a výrobků z nich, které klasické materiály nemohou nabídnout. Ve stavebnictví se jedná především o plasty v podobě různých izolačních folií a různých profilů. Protože stavby se nepoužívají pouze krátkou dobu, ale řádově musí sloužit několik desítek let, jsou i na výrobky z plastů v tomto odvětví kladeny vysoké nároky na životnost a zachování vlastností. V této diplomové práci se tedy budu zabývat jak teoretickými aspekty výroby a aplikace folií jako izolaci proti vodě, ale především jejich povětrnostním stárnutím a právě již zmiňovaným zachováním vlastností při expozici.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 TERMOPLASTICKÉ POLYOLEFINICKÉ ELASTOMERY

Termoplastické elastomery (TPE) jsou materiály, které tvoří přechod mezi termoplasty a elastomery a spojují v sobě jejich nejvýznamnější vlastnosti umožňující další aplikace zejména v náročných podmínkách. Jedná se především o flexibilitu elastomerů a snadnou zpracovatelnost termoplastů, odolnost stárnutí, svařitelnost. TPE se za velmi krátkou dobu rozvinuly do mnoha větví různého chemického složení z nichž jsou pro nás nejvýznamnější termoplastické polyolefiny, (TPO) [1].

Přehled nejčastěji používaných termoplastických elastomerů na polyolefinické bázi :

- kopolymery etylenu a  $\alpha$ -olefinického monomeru (etylen / okten, etylen / buten)
- kopolymery etylenu a akrylových esterů
- TPE-S – blokové kopolymery polyolefinů se styrenovými monomery
- TPE-V (TPV) – termoplastické vulkanizáty
- TPO – často se též používá výstižnější název – flexibilní polyolefiny (FPO), nazýváme směsi klasického elastomeru s polypropylenem nebo polyetylenem, tedy s nejvýznamnějšími používanými termoplasty. Základ těchto směsí nejčastěji tvoří etylen/propylenové kaučuky (EPM) nebo etylen/propylen/dienové kaučuky (EPDM). Jelikož není přesná hranice ani omezení v míchání složek, existuje v současné době široká škála materiálů jež lze definovat jako TPO a které mají velmi odlišné chemické složení [2].

Příprava takových směsí nebo polymerních slitin se realizuje pomocí stereoselektivních katalyzátorů, známých pod názvem metalloceny. Tento katalyzátor určuje pořadí segmentů v řetězci a jejich prostorové uspořádání (ataktický, syndiotaktický, izotaktický), stejně jako průměrnou délku segmentů, molekulární hmotnost a distribuci. TPO směsi jsou alternativou pro aplikace vyžadující odolnost stárnutí a výborné konstrukční vlastnosti zejména při použití ve stavebním a automobilovém průmyslu. Také stálost barev v přítomnosti vlhkosti, rozpouštědel nebo ropných paliv je velmi žádaná vlastnost, obzvláště v automobilovém průmyslu, tu mohou zajistit právě TPO složené z EPDM a polypropylenu [2].

TPO jsou jako náhrada konvenčních termoplastů používány už od začátku 80. let minulého století v různých venkovních i vnitřních aplikacích jak ve stavebnictví tak v automobilovém průmyslu. V oblasti stavebnictví je jednou z nejvýznamnějších aplikací

použití v oblasti hydroizolací a to především při výrobě hydroizolačních střešních folií (HIF).

Slitina EPM/EPDM + PP vzniká přímo v reaktoru při polymeraci PP, což umožňuje dosažení extrémně vysokého obsahu kaučuku, takže výsledný materiál je pak flexibilnější a houževnatější, ale stále tepelně svařitelný, což je hlavní výhodou TPO izolací v porovnání s izolacemi na bázi elastomerů (EPDM). Lídrem v oblasti vývoje a výroby PP typů TPO pro izolační folie je firma Basell, která vyrábí TPO slitiny obchodní značky Hifax pomocí patentované polymerační technologie Catalloy. Nejdříve se jako střešní folie používaly nevyztužené folie z TPO, ale v roce 1993 byly nahrazeny vyztuženou střešní folií. Od té doby se odvětví a používání těchto střešních folií prudce rozvíjelo, nejdříve hlavně v USA [3].

Vývoj však zdaleka není u konce, výzkumné práce pokračují jak v oblasti aditivace TPO retardéry hoření k dosažení směsí s nízkou hořlavostí, tak v oblasti aditivace na zvýšení UV odolnosti.

## 1.1 Definice rozdílů mezi termoplasty, elastomery a termoplastickými elastomery

Termoplasty jsou za pokojových teplot převážně tuhé někdy i křehké makromolekulární látky, které se za zvýšené teploty stávají plastické, tvarovatelné, přičemž změna z tuhého do kapalného stavu je vratná [4].

Elastomery jsou makromolekulární látky s velmi dlouhými ohebnými řetězci, které umožňují po deformaci malým napětím s jeho následným uvolněním návrat k původním rozměrům a tvaru. Vulkanizací můžeme z elastomerů získat pryž [4]. Pryž jakožto síťovaný materiál je už dále netavitelná a nelze ji tedy opětně zpracovat technologiemi pro termoplasty.

Termoplastické elastomery jsou polymerní látky, které za pokojové teploty mají vlastnosti elastomeru, respektive pryže, ale lze je zpracovávat jako termoplasty. Oproti pryži pak odpadá vulkanizace, ale užité vlastnosti jsou zachovány. Zachování elastických vlastností umožňuje struktura TPE, která je tvořena tvrdými a měkkými doménami charakterizovanými různými teplotami zesklnění  $T_g$  nebo tání  $T_m$  [4].

## 1.2 Výhody a nevýhody TPO

### VÝHODY:

- Jsou kompatibilní s polystyrény a asfalty, lze vynechat separační vrstvu (oproti měkčenému polyvinylchloridu PVC-P)
- Folie z TPO jsou pružné i bez použití nebezpečných změkčovadel (oproti PVC-P)
- TPO během doby použití nemění výrazně své vlastnosti - neobsahují nízkomolekulární látky (změkčovadla), které se v průběhu doby mohou uvolňovat (oproti PVC-P)
- Lze je dobře svařovat horkým vzduchem (oproti síťovaným EPDM, které se musí lepit) a dobrá svařitelnost je zachována i při nízkých teplotách [1].
- Mají poměrně dobrou odolnost povětrnosti
- Lépe odolávají nízkým i vysokým teplotám (ve srovnání s PVC)
- Neškodí životnímu prostředí (neobsahují změkčovadla)
- Ekologická výroba i likvidace - neobsahují halogeny v řetězci (oproti PVC-P)

### NEVÝHODY:

- Jsou hořlavé, nutnost retardace hoření
- Vykazují vyšší tuhost při zachování pevnostních charakteristik
- Nutnost použití složitých stabilizačních systémů
- Vyšší cena

### 1.2.1 Svařitelnost

Svařitelnost je jednou z nejvýznamnějších výhod TPO směsí. Svařitelnost je charakteristickou vlastností termoplastů, nikoli elastomerů. Ve směsích elastomerů s termoplasty tj. v TPO směsích získáme nejen vysokou odolnost, ale i tak užitečnou vlastnost jakou je sva-

řitelnost. Ta pak umožňuje vytvoření jednoduchých a velmi pevných spojů, dokonce pevnějších než samotná folie a to jednoduchým zahřátím horkým vzduchem. TPO folie mohou být v závislosti na složení svařovány v širokém rozmezí teplot a různou rychlostí [1]. Tato vlastnost je významná právě u výše zmíněných hydroizolačních folií (HIF), protože umožňuje snadnou instalaci HIF. Instalace u pryžových HIF (např. z EPDM) musí být prováděna poměrně složitě a nespolehlivě lepením.

## 2 SUROVINY PRO VÝROBU TPO

Jak je známo, je nepřehledné množství kombinací termoplastů s kaučuky, ze kterých lze speciálním výrobním postupem vyrobit inženýrské TPO směsi vhodné pro širokou oblast použití od lékařství přes stavebnictví až po automobilový průmysl. Zde se však budeme zabývat pouze čtyřmi nejvýznamnějšími surovinami z nichž se převážně vyrábí střešní izolační folie a to je polypropylen (PP) nebo polyetylen (PE) jako základní složka EPM, případně EPDM.

PP, PE, EPM a EPDM patří do skupiny syntetických polymerů nazývaných polyolefiny. Ty představují kvantitativně největší skupinu syntetických polymerů, což je způsobeno hlavně jejich snadnou dostupností a tím pádem i nízkou cenou a výbornou zpracovatelností [5].

### 2.1 Polypropylen

Je velmi rozšířený termoplast používaný v mnoha odvětvích průmyslu. Spolu s polyetylenem je to významný polymer ze skupiny polyolefinů. Vyniká velmi dobrou chemickou, tepelnou a mechanickou odolností. Je dokonce možné jej mechanicky opracovávat na strojích podobných pro opracování dřeva, ohýbat, tvarovat za tepla i za studena. Velmi výhodnou vlastností je jeho svařitelnost. Má také velmi dobrou odolnost vůči UV záření. Vyznačuje se vysokou pevností a rázovou houževnatostí v širokém rozsahu teplot.

Polypropylen se vyrábí kationtovou polymerací propenu za přítomnosti katalyzátorů. Rozlišujeme polypropylen ataktický, izotaktický a syndiotaktický. Pro nás je nejdůležitější izotaktický polypropylen, protože je nejvíce krystalický, má pravidelně uspořádanou strukturu a je tím pádem houževnatý. Krystalická fáze PP v TPO vytváří v systému tuhé segmenty s vyšší  $T_g$  ( $-10^\circ\text{C}$ ) a  $T_m$  ( $160 - 170^\circ\text{C}$ ) a má na svědomí fyzikální „zesíťování“ těchto elastomerů.

Polypropylen je odolný proti všem látkám kromě benzenu, benzínu, trichloretylenu, bromovým vodám, kyselině dusičné a chloroformu. Je chemicky stabilní a zdravotně nezávadný, jeho hustota se pohybuje okolo  $0,92 \text{ g/cm}^3$ , má tedy nízkou hmotnost a je cenově dostupný [6].

## 2.2 Polyetylen

Polyetylen je také termoplast ze skupiny polyolefinů. Je to mléčně bílý polymer, v nepřítomnosti světla si zachovává své vlastnosti velmi dlouho, za normálních teplot odolává dokonce i účinkům  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$  a  $\text{HF}$ . Při teplotách nad  $50^\circ\text{C}$  se rozpouští v aromatických nebo chlorovaných uhlovodících. Vzniká nízkotlakou nebo vysokotlakou polymerací etylenu, přičemž při polymeraci za vysokého tlaku získáme polyetylen s rozvětveným řetězcem, zatímco při nízkotlaké polymeraci dostaneme lineární polymer. PE je znám již od roku 1935, ale až do roku 1953 byl málo rozšířen, protože tehdejší vysokotlaká polymerace byla náročná. Vylepšením technologie v pozdějších letech se PE stal nejrozšířenějším polymerem po PVC. Kromě vysokotlakého a nízkotlakého PE rozlišujeme i mnoho dalších druhů, zejména se dělí podle hustoty a větvení. Jsou to především tyto typy:

- UHMWPE - je polyetylen s molekulární váhou obvykle mezi 3,1 a 5,67 milionů. Vysoká molekulární váha vyústí v horší skládání řetězců do krystalové soustavy. Je to velmi tuhý materiál. UHMWPE je používán ve vysokomodulových vláknech a v neprůstřelných vestách.
- HDPE – vysokohustotní PE, díky vhodným katalyzátorům je málo rozvětvený a vykazuje tudíž vyšší pevnost v tahu.
- HDXLPE – vysoce hustotní polyetylen s křížovými vazbami.
- PEX – díky křížovým vazbám je zlepšena teplotní odolnost a chemická stálost polymeru.
- MDPE – středně hustotní PE, hustota se pohybuje v rozmezí  $0,926 - 0,94 \text{ g/cm}^3$
- LDPE – hustota  $0,91 - 0,94 \text{ g/cm}^3$ , rozvětvený, proto horší krystalizace a nižší pevnost v tahu.
- LLDPE – nízkohustotní převážně lineární polyetylen s krátkými bočními řetězci, hustota v rozmezí  $0,915 - 0,925 \text{ g/cm}^3$
- VLDPE – méně zmiňovaný typ, převážně lineární PE, hustota  $0,88 - 0,915 \text{ g/cm}^3$ , při polymeraci se používají metallocenové katalyzátory [6].



Polyetylen má vynikající odolnost proti velké řadě agresivních chemikálií. Vzhledem k hromadné produkci dosáhl zejména HDPE příznivou cenovou hladinu a stal se univerzálním konstrukčním materiálem, který může konkurovat tradičním materiálům jako jsou dřevo, kovy a sklo. Polyetylen se velmi dobře svařuje, ale téměř se nedá lepit [7].

Následující vlastnosti činí z HDPE nepostradatelný konstrukční materiál:

- je snadno opracovatelný, dá se velmi dobře svářet,
- je mechanicky velmi pevný,
- stabilizovaný odolává slunečnímu světlu, vlivům počasí a vlhkosti,
- hodí se pro styk s potravinami [7].

PE je v tuhém stavu téměř neprůhledná látka, s mléčným zákalem, na omak má voskovitý charakter. Všechny typy PE mají vysokou krystalinitu. Krystalická fáze PE v TPO vytváří v systému tuhé segmenty s vyšší  $T_g$  ( $-120^{\circ}\text{C}$ ) a  $T_m$  ( $105 - 140^{\circ}\text{C}$ ) a má na svědomí fyzikální „zesíťování“ těchto elastomerů. Hodnoty  $T_g$  a  $T_m$  jsou však nižší než u PP a proto mají sice PE typy TPO výborné odolnosti nízkým teplotám, ale jejich stálost za vyšších teplot je horší. Teplota tání se pohybuje mezi  $105$  a  $136^{\circ}\text{C}$ . Je vysoce houževnatý a tažný, stálý proti chemickým činidlům, omezená je jeho stálost oxidačním činidlům. PE nepropouští vodní páru a je mrazuvzdorný. Podléhá toku za studena a má sklony k praskání pod napětím. Pokud je nestabilizovaný špatně odolává povětrnostnímu stárnutí, zejména slunečnímu záření. Náchylnost na fotooxidační stárnutí klesá s rostoucí krystalinitou, protože k němu dochází hlavně v amorfních oblastech [5].

Polyetylen má mnoho oblastí použití, která samozřejmě závisí na jeho struktuře. Jak je známo nízkohustotní PE se především používá na předměty denní spotřeby pro domácnosti. Vysokotlaký PE neboli HDPE, známý též jako mikroten se používá pro výrobu sáčků, pytlů, tašek apod.

### 2.3 Etylen/propylenový a Etylen/propylen/dienový kaučuk

Etylen/propylen/dienový kaučuk je amorfní elastomer vzniklý roztokovou kopolymerací etylenu, propylenu a nekonjugovaného dienu za přítomnosti Ziegler – Nattových katalyzátorů. EPDM je tedy nenasycený kopolymer s malým množstvím dienů. Použitým diemem je nejčastěji 5 – etylden – 2 – norbornen, někdy také 1, 4 – hexadien. Tento kaučuk lze díky

přítomnosti dvojných vazeb síťovat klasicky sírou. Má vynikající stabilitu proti stárnutí a chemikáliím, relativně vysokou schopnost plnění a dobré mechanické vlastnosti. Nevýhodou je pro některé aplikace jejich nízká lepivost způsobená nepřítomností polárních skupin. Naopak velmi dobrá je jeho odolnost polárním činidlům – kyselinám, alkáliím a alkoholům. Odolnost nepolárním látkám jako jsou pohonné hmoty a oleje je velmi malá. Jeho vlastnosti jsou tedy výhodné pro výrobu střešních folií, ale používá se i v jiných oblastech vyžadujících zvýšenou odolnost povětrnostnímu stárnutí [5].

Etylen/propylenový kaučuk je proti němu nasycený. Neobsahuje dvojně vazby a používá se více pro aplikace do TPO směsí. EPM se častěji používá do termoplastických vulkanizátů. EPM a EPDM jsou rozvětvené, elastomerní materiály a v TPO systémech vytváří měkkou, elastomerní fázi. Oba elastomery vykazují velkou tepelnou stálost, relativně nízkou cenu, ohebnost i v nízkých teplotách a strukturální podobnost s polypropylenem. Tato podobnost také zajišťuje dobrou kompatibilitu při míchání [8].

EPDM kaučuky mají nízkou teplotu zesklenní a proto jsou jejich dynamické vlastnosti dobré. Chemicky nasycené řetězce obsahují dvojně vazby jen v postranních substituentech a vyznačují se výbornou tepelnou odolností a zároveň i výbornou chemickou odolností. V závislosti na složení směsi, ve které je EPDM nebo EPM použit je možné jej dlouhodobě vystavit maximálním teplotám v rozmezí 126 až 150°C.

### 3 STRUKTURA TPO

Jak je známo jsou TPO tvořeny sítí řetězců, které mají tvrdé a měkké segmenty. Hlavní vlastnosti TPO jsou tedy definovány právě vlastnostmi této sítě především jejich uzlů jež nejsou na rozdíl od pryže chemické povahy [4].

Použití TPO resp. TPE je výhodné, protože přechod z taveniny k pevnému, elastickému tělesu je rychlý, vratný a nastává pouhým ochlazením taveniny. Odpadají tudíž další časové i ekonomické nároky na fixaci tvaru vulkanizací jako v případě klasických vulkanizátů [4].

Uzly TPO sítě tvoří obvykle určité množství nemísitelných termoplastických domén, dispergovaných v kontinuální elastomerní matici. Zatímco u konvenčních polymerních směsí je mezifázová energie malá u TPO se vytvářejí fyzikální vazby, jejichž energie je srovnatelná s energií kovalentních vazeb. Domény v TPO jsou také mnohem větší než chemické vazby tvořící uzly sítě v klasických pryžích. Dispergovaná tvrdá fáze působí v TPO i jako plnivo a může mít příznivý ztužující vliv na mechanické vlastnosti, zejména při vyšších deformacích. Domény tvořící uzly jsou při pokojové teplotě tuhé a spojují elastomerní řetězce do trojrozměrné sítě. Při zahřátí tvrdé bloky měknou a TPO je schopen toku. Vícefázová doménová struktura někdy přetrvává i za zvýšených teplot a v taveninách komplikuje jejich reologické chování [4].

Vlastnosti TPO závisí jak na vlastnostech elastomeru, tak i na poměru mezi obsahem tvrdé a měkké fáze. Zpracovatelnost TPO ovlivňuje také molární hmotnost a stupeň mísitelnosti mezi měkkou a tvrdou fází. Odolnost olejům a rozpouštědlům je obvykle lepší, je – li tvrdá fáze krystalická. Rychlost stárnutí závisí na termooxidační a světelné odolnosti obou základních složek [4].

Protože tvrdé i měkké domény TPO mohou být vytvořeny polymery různého složení, struktury, vlastností a různého stupně vzájemné mísitelnosti, existuje mnoho materiálů, které lze na základě jejich vlastností zařadit mezi TPO nebo TPE. Neexistuje tedy žádná ostrá hranice mezi TPO nebo TPE a klasickými polymerními směsmi, jejich klasifikace je proto obtížná [4].

Je samozřejmé, že morfologie TPO je významná pro řízení mechanických i reologických vlastností. TPO tvoří dvoufázový systém, proto konečná struktura závisí na povaze jednot-

livých složek a na systému tvorby vazeb mezi nimi. Poté jsou možné tři typy struktury v závislosti na složení:

- Částice elastomeru rozptýlené v souvislé PP matrici.
- Kokontinuální PP a elastomerní fáze.
- Částice PP rozptýlené v elastomerní matrici [8].

Například pro EPDM/PP směs s PP jako hlavní složkou se dynamickou vulkanizací vytvoří struktura s EPDM rozptýlené PP matrici. Naopak ve směsích EPDM/PP přibližně stejného poměru se vyskytují dvě kokontinuální fáze [9].

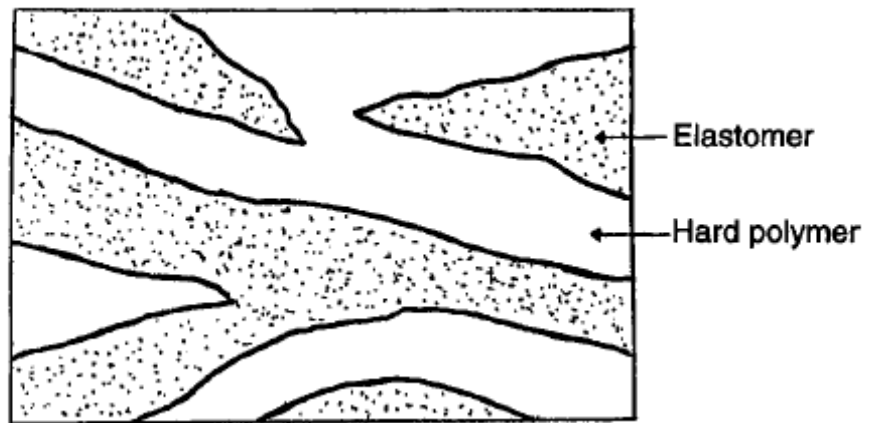
Pro vlastnosti směsí jsou determinující velikost částic, jejich tvar a distribuce. Polyolefinická fáze je téměř vždy kontinuální. Kaučuková fáze může být diskrétní nebo kontinuální v závislosti na obsahu kaučuku ve směsi, jeho typu a typu míchání. Ve většině případů byla kaučuková fáze kontinuální pokud její obsah ve směsi byl v rozmezí 45-48 % z celkového množství [8].

## 4 PŘÍPRAVA TPO

Materiály pro střešní TPO krytiny na bázi PP/EPM jsou polymerovány společně za použití nejmodernějších technologií. Tato technologie umožňuje výrobu folií, které jsou i za nízkých teplot dostatečně flexibilní a to bez přídavku změkčovadel. TPO folie tedy neobsahují žádný chlor (na rozdíl od PVC) ani jiné dráždivé či nebezpečné látky a mohou být tudíž prezentovány jako bio nebo zelené produkty šetrné k životnímu prostředí. Do TPO směsi se při výrobě přimíchávají také barviva, retardéry hoření a další přísady jež zlepšují odolnost v aplikačních podmínkách ve stavebnictví. Obzvláště nehořlavá úprava folií je důležitá a je i požadována platnými normami [3].

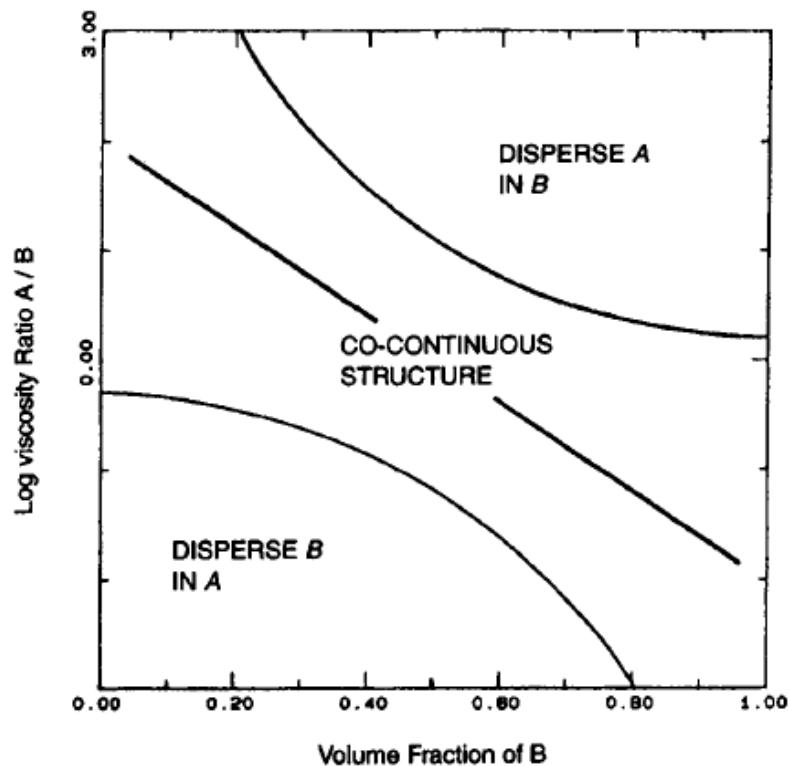
Kromě zde více popsaného catalloy postupu je možné TPO na bázi PP/EPM připravovat také metodou dynamické vulkanizace. Tento postup byl nejprve vyvinut firmou Uniroyal a dále rozvinut podnikem Monsanto a takto vyrobené materiály potom řadíme do třídy TPO značené TPV. Výroba TPV/TPO vyžaduje neustálé získávání poznatků nových technologií za účelem výroby vyhovujících výrobků. S rostoucími znalostmi ale zjišťujeme, že problematika míchání je stále klíčový faktor a proto kvalita výrobků stále závisí na míchání složek. Dynamická vulkanizace probíhá při míchání v tavenině realizací síťovacích reakcí. Takto připravené TPO poté vykazují vlastnosti bližší elastomerům jako nižší tuhost, vyšší odolnost únavě, teple, chemikáliím a přitom si zachovávají možnost zpracování konvenčními postupy pro zpracování termoplastů [9].

Jednoduché směsi jsou připravovány smícháním tvrdého polymeru a elastomeru na zařízení, které oba materiály namáhá vysokým smykovým namáháním např. Banbury nebo dvoušnekový stroj. Vzniknou nám dvě fáze z nichž ani jedna není síťovaná a mohou proto téct. Na obrázku (obr. 1) je znázorněna tuhá a elastomerní fáze. Důležité je, aby viskozity obou složek byly podobné při dané teplotě zpracování a smykovém namáhání při míchání. Vztah mezi viskozitami složek a jejich obsahu ve směsi je zobrazen na obrázku (obr. 2). Dalším parametrem, který nás při výběru surovin pro směs zajímá a který rozhoduje o úspěšnosti míchání je kompatibilita složek [8].



Obrázek 1 – Struktura směsi z elastomeru a tuhého polymeru [8]

Ta je určována rozdílem jejich parametrů rozpustnosti. Pro ideální míchání by měl být objem složek stejný, pak by měla být stejná i viskozita. Pokud se objem složek nerovná, má poté složka více zastoupená větší viskozitu. V jednoduchých PP/EPM směsích se intenzivním mícháním vytváří heterogenní struktura. Regulací viskozity mohou obě fáze být kontinuální i přes značný rozdíl objemů např. 80/20 [8].



Obrázek 2 – Vztah mezi viskozitou složky a jejím množstvím ve směsi [8]

Při míchání TPO směsí se také používá velký rozsah různých přísad. Mohou to být různá plniva, plastifikátory, maziva, tokové modifikátory, antioxidanty, tepelné stabilizátory, pohlcovače UV záření, barviva, retardéry hoření a případně také různá změkčovadla. Většina přísad je již obsažena v kaučukové fázi. Studie ukázaly, že například směs s obsahem 20% sazí neobsahuje žádné saze v polypropylenové fázi. Ale při vyšších zpracovatelských teplotách se mohou některé přísady přesunout do polyolefinové fáze [8].

#### 4.1 Catalloy proces

Catalloy proces je v současnosti nejlepším a nejrozšířenějším výrobním postupem používaným pro výrobu vysoce výkonných polyolefinů. Samotný proces byl vyvinut v roce 1984, ale plně využíván začal být až v roce 1990, kdy byl ve Ferrare v Itálii založen podnik na výrobu termoplastických polyolefinů. Tento postup přípravy TPO byl vyvinut podnikem Basell Polyolefins jako náhrada dynamické vulkanizace a bývá označován také jako krátká dynamická vulkanizace. Tato technologie výroby sestává z mnohostupňové polymerace v plynné fázi za přítomnosti vysoce aktivních Ziegler-Nattových katalyzátorů. Takto může být polypropylen a kaučuk získán v jednom kroku. Tento způsob je výsledkem dlouholetých výzkumů s použitím Ziegler-Nattových katalyzátorů a umožňuje připravit materiály pro velmi široký okruh aplikací. Tato technologie má mimo výhody v aplikaci materiálů a jejich lepších vlastností také pozitivní vliv na snižování nákladů na výrobu, zejména energetických a také na snižování odpadů, což je považováno za inovační a proto přínosné v procesu ochrany životního prostředí [9].

Catalloy je proces, který si nechala patentovat firma Basell a v současné době vyrábí širokou paletu licencovaných TPO materiálů ve svých pobočkách v Itálii, Nizozemí a v Texasu, USA. Proces probíhá uvnitř reaktoru, kde kulovité částičky polypropylenu fungují jako minireaktory, protože polymerace probíhá v jejich pórovité struktuře, jak jsou přidávány jednotlivé monomery. Počáteční kulička vytváří rostoucí základ polymeru s neaktivnějšími katalyzátorovými místy na vnější straně. V dalších reaktorových stupních klesá aktivita povrchu a polymerace je nejvíce podporována vnitřními centry. To má za následek rostoucí, kulovité zrnko, které má pevné, pórovité reaktivní lůžko uvnitř kterého mohou být polymerovány další monomery a tak může být tvořena struktura TPO slitiny [9].

## 5 VLASTNOSTI TPO FOLIÍ

V této kapitole se budu zabývat klíčovými vlastnostmi TPO materiálů obecně. Tyto materiály se vyznačují vlastnostmi, které nejenže pokryjí vlastnosti klasických elastomerů, ale zasahují také do oblasti termoplastů, ale přitom například hustota je nižší než u většiny konstrukčních, inženýrských plastů [9].

Termoplastické polyolefiny svými mechanickými vlastnostmi pokrývají mezeru mezi elastomery a konstrukčními plasty. Spojují pevnost a houževnatost s vlastnostmi tradičních kaučuků. TPO směsi jsou dostupné v mnoha různých tvrdostech. Směsi s vysokým obsahem EPDM už vykazují spíše kaučukovité chování. Pokud použijeme semikrystalický EPDM dojde ještě k dalšímu zlepšení vlastností především v tažnosti [8].

Problémy mohou nastat co se týče určení teplot použití dané směsi. Část materiálu může být vystavena zvýšené teplotě jen po krátký časový interval. Pro krátkodobé vystavování zvýšeným teplotám je určující bod tání tuhé fáze TPO směsi. Tím je ve většině případů bod tání polypropylenu. Proto je většina TPO směsí použitelná do 140°C. Pro dlouhodobé expozice vyšším teplotám a proti stárnutí je nutná stabilizace [8].

Vzhledem k použitým složkám, které jsou kromě případu použití EPDM nasycené není nutná silná stabilizace proti ozonu a povětrnostnímu stárnutí. TPO směsi si velmi dlouho udržují původní vlastnosti i při působení slunečního záření a povětrnostním vlivům. Změna vlastností může nastat vlivem některé z přísad. Nejčastější problémy jsou různé skvrny způsobené rozkladem přísad [8].

TPO mohou zajistit dlouhé udržení vlastností v přítomnosti vody, automobilových kapalin, různých chemikálií a rozpouštědel v širokém rozmezí teplot. Výborně také odolávají únavě z ohybu. Pro názornost, tabulka 1 srovnává vlastnosti TPO a TPV. Ačkoli jsou obě třídy termoplastických polyolefinů se stejným složením, v závislosti na postupu přípravy se jejich vlastnosti značně liší. To je způsobeno především síťováním, kterého bylo u TPV docíleno dynamickou vulkanizací [9].



Tabulka 1 – Srovnání vlastností TPO s TPV

Vlastnost	ASTM	Jednotky	TPO <sup>a</sup>	TPO <sup>b</sup>	TPV <sup>a</sup>	TPV <sup>b</sup>
<b>Tvrdość</b>	D - 2240	Shore	75 A	40 D	75 A	42 D
<b>Hustota</b>	D - 792	-	0,88	0,88	0,91	0,93
<b>Pevnost v tahu</b>	D - 638	MPa	12	15	8,3	14
<b>Prodloužení na mezi pevnosti</b>	D - 638	%	855	800	360	475
<b>Modul pružnosti</b>	D - 790	MPa	36	89	31	94

Vysvětlivky k tabulce:

ASTM – norma podle které byla zkouška provedena

TPO<sup>a</sup> – testovaný materiál byl HiFax 122-83-4, Basell Polyolefins

TPO<sup>b</sup> – testovaný materiál byl HiFax CA 10A, Basell Polyolefins

TPV<sup>a</sup> – materiál HiFax XL 75A01, Basell Polyolefins

TPV<sup>b</sup> – materiál HiFax XL 42D01, Basell Polyolefins [9]

## 5.1 Fyzikální vlastnosti

Střešní folie se skládá z lícové vrstvy, spodní vrstvy a také z vyztužující vrstvy mezi základními vrstvami, mívá nejčastěji podobu výztužné mřížky. Protože fyzikální vlastnosti TPO folií závisí na jejich složení a poměru jednotlivých složek a existuje velké množství kombinací, které navíc nejsou ostře vytyčeny existuje také široké rozmezí fyzikálních vlastností těchto folií. Mezi nejdůležitější vlastnosti, které musíme znát pro definování jednotlivých folií patří:

- Minimální tloušťka
- Pevnost v tahu
- Pevnost v ohybu
- Odolnost povětrnostnímu stárnutí a změnám počasí
- Rozměrové změny.

Tloušťka folie je důležitá zvláště ve spojitosti s oděruodolností, svařitelností a odolností stárnutí. Ke zhodnocení povětrnostního stárnutí slouží expozice vzorků folií v přístrojích simulujících povětrnostní stárnutí pokud možno po co nejvíce cyklů. Tyto přístroje vystaví vzorky kombinaci ultrafialového a ultračerveného záření, ozonu, vodních sprch a tepla pro urychlení povětrnostního stárnutí. Po vyjmutí z nich jsou vzorky kontrolovány pod mikroskopem, hledají se trhliny a praskliny. Pevnost a prodloužení vzorků z xenotestů nesmí např. podle ASTM klesnout pod 90% hodnot vzorků nevystavených expozičním podmínkám v testovacím přístroji [3].

## 6 POVĚTRNOSTNÍ STÁRNUTÍ TPO FOLIÍ

Povětrnostním stárnutím se rozumí souhrn nevratných změn vlastností materiálu vyvolaných působením povětrnostních vlivů. Těmito vlivy můžeme rozumět jak vlivy přirozené, atmosférické, tak vlivy uměle vytvořené (simulované), v zásadě je můžeme shrnout takto:

- Sluneční záření (UV záření),
- Působení O<sub>2</sub>, ozonu O<sub>3</sub>,
- Krátkodobé i dlouhodobé působení vody a vlhkosti,
- Střídání teplot, mráz,
- Vítr
- Nečistoty v atmosféře.

Vlivem stárnutí probíhá v polymerech řada změn, ať už jde o změny struktury vlivem chemických reakcí nebo o fyzikálně chemické změny. Odolnost stárnutí, nejen povětrnostnímu, je velmi důležitým činitelem, určujícím životnost, respektive použitelnost materiálu a tím i výrobků z něj. Znalost stárnutí polymerů na povětrnosti je proto potřebná pro výrobce i spotřebitele. Studium procesů a reakcí, které při povětrnostním stárnutí probíhají je pak podkladem pro návrhy stabilizačních systémů a modifikace. [5]

Podstatou zkoušek povětrnostní odolnosti je vystavení zkušebních vzorků atmosférickým nebo umělým povětrnostním vlivům. Ve stanovených časových intervalech se pak vzorky odebírají a provádí se u nich kontrola vybraných vlastností. Výsledkem zkoušek je poté znázornění časové závislosti dané vlastnosti.

Zkoušené vzorky mohou být také pod nějakým zatížením. Současné metody jsou ovšem nedokonalé a většinou neumožňují přesnou definici zatížení vzorků. Opomíjí se tak například mez kluzu nebo kríp u polymerních materiálů. Také kombinaci povětrnostních vlivů některá zařízení na umělé stárnutí neumožňují. Přitom je známo, že právě kombinace zatížení či mechanického namáhání a několika různých povětrnostních vlivů značně mění trvanlivost polymerních materiálů a zkracuje jejich životnost v aplikacích [10].

## 6.1 Faktory stárnutí

Povětrnostní stárnutí je komplexem mnoha faktorů, jak jsou již ve zkratce zmíněny výše. Tyto faktory působí jednak samostatně, ale také v kombinacích. Některé kombinace těchto faktorů povětrnostní stárnutí zdatelně urychlují a tím velmi komplikují použití některých materiálů v různých podmínkách. Mechanismus působení nejdůležitějších faktorů si proto v krátkosti přiblížíme.

### 6.1.1 Ultrafialové záření

Následkem absorpce světelné energie dochází u polymerů k jejich odbourávání a degradaci v důsledku různých typů fotochemických reakcí. Na polymery má z dopadajícího záření největší vliv záření o vlnové délce 290–400 nm, které tvoří asi 5% z celkové sluneční radiace dopadající na povrch Země. Rozsah radiace také závisí na znečištěnosti atmosféry, nadmořské výšce a ročním i denním období [5].

Většina polymerů podléhá vlivem UV záření chemickým reakcím neboť obsahují chromoforní skupiny schopné toto záření absorbovat. Tyto skupiny jsou v polymeru obsaženy jako pravidelné součásti struktury nebo jako nečistoty. Absorbovala-li molekula polymeru část UV záření těmito chromoforními skupinami, přechází do nestabilního, excitovaného stavu. Částice v excitovaném stavu se může přebytku energie zbavit těmito způsoby:

- Přenést energii na jinou molekulu srážkou
- Postupně se vrátit do své výchozí energetické hladiny zářením o nižší hladině energie
- Podlehnout molekulárnímu přesmyku, přebytek energie se uvolní jako teplo
- Vyvolat Ramanovy vibrace elektronů, atomů a molekul
- Roztržením vazby, pokud se excitovaná molekula nemůže zbavit přebytku energie způsoby uvedenými v předchozích bodech.

Degradace UV zářením nikdy nevystupuje v trvanlivosti polymeru samostatně. Jeho účinek se značně zhoršuje přítomností kyslíku a dalších faktorů. Degradční teorie ale má stále značné mezery v objasnění některých jevů [5].

### 6.1.2 Vliv kyslíku

Při mírných teplotách bývá struktura většiny polymerů v přítomnosti kyslíku bez záměrné katalýzy poměrně stálá. Rozhodující je proto pro degradaci kyslíkem tvorba radikálů, které s ním rychleji reagují. Tyto radikály mohou vznikat různými způsoby. Autooxidace má nejčastěji charakter řetězové radikálové reakce. Po iniciačním stadiu, kdy z makromolekul účinkem dodané energie vznikají radikály následuje další stadium – v něm vznikají hydroperoxydy. Citlivost polymerů k oxidaci je určována charakterem uhlíkového řetězce, zejména snadností, s jakou z něj peroxoradikály odtrhují atom vodíku za vzniku nového radikálu. Na autooxidaci jsou náchylné terciální uhlíky, uhlík v poloze  $\alpha$  vůči dvojně vazbě a aromatickému kruhu. Nejdolnější jsou polymery s nasyceným nerozvětveným řetězcem. Oxidace polymerů je za normální teploty velmi pomalá, ale i její malý rozsah vyvolá prudký pokles molekulové hmotnosti a tím i změnu vlastností. Oxidaci mohou urychlovat také defekty ve struktuře, nečistoty z monomerů nebo zbytky iniciačních systémů [5].

### 6.1.3 Vliv ozonu

Koncentrace ozonu v atmosféře při zemském povrchu je velmi nízká ( $2 \cdot 10^{-6}$  až  $4 \cdot 10^{-6}\%$ ). Závisí také na ročním období, zeměpisné poloze a meteorologických podmínkách. Se vzdáleností od povrchu Země koncentrace ozonu stoupá a maximální je ve výškách kolem 30 km. I přes tuto nízkou koncentraci ozonu při zemském povrchu má významnou úlohu při povětrnostním stárnutí polymerů. Nasycené polymery jsou vůči ozonu v takových malých koncentracích poměrně odolné, u nenasycených vyvolává ozon podobnou degradaci jako kyslík. Průběh této degradace je ale mnohem rychlejší [5].

### 6.1.4 Účinky vody

Voda je jedním z nejdůležitějších faktorů způsobujících degradaci polymerů. Její účinek spočívá ve vymývání všech ve vodě rozpustných katalyzátorů i produktů odbourávání, které by mohly katalyzovat další reakce. Bohužel voda také vymývá antioxidanty a světelné stabilizátory. Pokud voda vnikne dovnitř polymeru může způsobit bobtnání nebo působit jako změkčovadlo. K vodě jsou nejnáchylnější polymery, které obsahují hydrolyzovatelné skupiny vzniklé oxidací. Jsou-li tyto skupiny v hlavním řetězci dochází k významnému snížení molekulové hmotnosti a ztrátě pevnosti. Hydrolýzu jako většinu reakcí urychluje zvýšená teplota a kyselé nebo zásadité prostředí [5].

### 6.1.5 Vliv tepla

Teplota má významný vliv na rychlost chemických reakcí (zejména oxidace a hydrolýza). Při zvýšení teploty o 10°C probíhá daná reakce asi dvakrát rychleji. Sluneční záření svou IR složkou zvyšuje povrchovou teplotu polymerů i okolního vzduchu a přispívá tak k jejich degradaci. Také kolísání teplot degradaci značně přispívá, vyvolává totiž rozměrové změny, které mohou být příčinou vzniku vnitřního pnutí a pak vzniku trhlin v materiálu, případně může způsobit změnu krystalinity polymeru. Oběma těmito defekty se následně může usnadnit difúze kyslíku a ozonu do polymeru a urychlení degradace. Při vyšších teplotách také dochází k migraci přísad, především změkčovadel, stabilizátorů a dalších. Následkem toho je nepřiměřené ztvrdnutí polymeru a ztráta mechanických vlastností [5].

### 6.1.6 Účinky ostatních faktorů

Mezi další faktory řadíme především vítr a různé nečistoty, které se vyskytují v atmosféře. Vítr sám o sobě není zvláště destruktivní. Nebezpečné mohou být atmosférické nečistoty (prach, saze, písek, mikroorganismy), které vítr přináší. Značně se také v atmosféře vyskytují chemické nečistoty, především soli, které mohou působit korozivně. Mnoho jiných nečistot ale také může chránit polymery tím, že ulpíváním na jeho povrchu jej chrání před slunečním zářením.

Velmi důležité nečistoty v atmosféře jsou také plynné nečistoty. Jedná se hlavně o oxidy síry, dusíku, oxid uhelnatý a uhlovodíky. V koncentracích v silně znečištěné atmosféře lze jejich účinek na hydrolyzovatelné polymery srovnat s účinkem slunečního záření. Nasycené polymery jsou těmto vlivům značně odolné [5].

## 7 UV STABILIZACE TPO FOLIÍ

UV stabilizaci folií provádíme kvůli jejich expozici slunečnímu záření v aplikacích. Složkou slunečního záření je spolu s jinými typy záření i UV složka. Stabilizaci folií zajistíme přidávkem různých látek, které toto záření pohlcuje a tím je chrání před fotooxidací.

Mechanismus jejich účinku je natolik složitý a velmi odlišný pro různé typy látek, že je nelze podle něho přesně charakterizovat. Koncem šedesátých let byla schopnost absorbovat světlo o vlnové délce 300-400 nm považována za základ jejich účinku [11].

Na světelné a UV stabilizátory existují všeobecné požadavky, které by měly splňovat všechny používané sloučeniny. Zde jsou ty nejdůležitější:

- Stálost na světle
- Nesmí zbarvovat polymer
- Dobrá mísitelnost s polymerem
- Nesmí být těkavé a vypírat se
- Dostatečně tepelně a chemicky stabilní
- Zdravotní nezávadnost [12].

Stabilizace polymerů se provádí převážně fyzikálním přimícháním UV stabilizátorů k základnímu polymeru. V praxi se osvědčily zejména deriváty benzofenonu, o-hydroxybenzofenony s různými substituenty, benzotriazoly nebo stéricky stíněné aminové stabilizátory. [13]

### 7.1 UV Stabilizátory

Jako světelné stabilizátory se používají přísady, které absorbují ultrafialové záření, tj. tu složku světla, která má dostatečně velkou energii, aby způsobila degradaci polymeru. Proto jsou též často nazývány absorbéry UV záření. Z používaných stabilizátorů například není vhodné použít samotný benzofenon, ale jeho deriváty. Hydroxybenzofenon absorbuje přibližně 10% ultrafialového záření. Každou další substitucí skupinou –OH zvětšuje absorpční oblast o 10 nm. V dnešní době nejvíce používané UV stabilizátory jsou stéricky stíněné aminy, označované zkratkou HALS. Tato zkratka pochází z anglického Hindered Amine

Light Stabilizers. Výhodou těchto aminů je vysoká účinnost, nevýhodou je značná těkavost a tendence vykvétat na povrch polymerů v důsledku malé snášenlivosti s nimi. Tyto nedostatky se řeší zaváděním derivátů stíněných aminů [14].

Samozřejmě stabilizační účinek vykazují také některé pigmenty. Především se jedná o oxid titaničitý a zinečnatý, největší účinek vykazují aktivní saze. Ty lze ale použít jen v aplikacích, kde není problémem tmavá barva finálního výrobku [14].



## 8 SLOŽENÍ STŘEŠNÍ FOLIE

Střešní folie se pro zajištění všech užitných požadavků skládá z několika vrstev. Každá vrstva přitom zajišťuje jiné vlastnosti. Obecně lze tyto vrstvy rozdělit na lícovou, výztužnou a rubovou. Jejich jednotlivé funkce jsou popsány níže.

### 8.1 Lícová vrstva

Lícová vrstva se skládá z PP polymerovaného současně s EPM kaučukem. Vznikl tak elastomer na bázi polyolefinu. Lícová vrstva bývá vybarvena do světle šedého odstínu a musí být silně UV stabilizovaná. Tato strana je totiž vždy tou exponovanou stranou. Bez přítomnosti UV stabilizátorů by velmi rychle došlo k degradaci vlivem UV záření. Rozdílné vybarvení lícové a rubové strany poté pomáhá i při montážích do střešních systémů.

### 8.2 Rubová vrstva

Rubová vrstva má ve většině případů funkci spíše podpůrnou. Bez ní by se těžko laminovala lícová vrstva s výztužnou vrstvou. Rubová vrstva poskytuje samozřejmě mnoho možností pro použití druhotných surovin, především recyklátů z výroby, ale případně také sběrných neznečištěných recyklátů. Také použití plniv je zde přípustné. Rubová vrstva musí být také stabilizovaná proti UV záření, ale samozřejmě značně méně než je tomu u lícové vrstvy. Tato strana celkové hydroizolační folie bývá většinou barevně odlišena od lícové vrstvy, bývá vybarvena nejčastěji na tmavě šedou barvu. Barva může být i jiná podle požadavků zákazníků. Odlišení jednotlivých vrstev barevně poté usnadňuje orientaci a rozlišení vrstev především v terénu a při montážích do konkrétních míst, kde mají plnit svou funkci (střechy, zahradní jezírka apod.).

### 8.3 Výztužná vrstva

Výztužný (armovací) materiál dodává výrobku potřebnou rozměrovou stabilitu, nízkou tažnost a dobrou strukturní pevnost (nutnou v případě mechanicky kotvených střešních HIF). Používá se skelné rouno nebo PES textilní mřížka, eventuálně jejich kombinace. Vzhledem k použití ve stavebnictví je dalším požadavkem snižená hořlavost výrobku.

Jako výztuž je v případě testovaných TPO HIF folií použito skelné rouno. Skelné rouno je vyrobeno stkaním skelných vláken. Tato vlákna se vyrábí tavením  $\text{SiO}_2$  v pecním agregátu. Tento agregát musí být vysoce odolný vysokým teplotám, je proto vyroben převážně z materiálů na bázi chrómu, zirkonu a mullitu. Na tavící prostor poté navazují platinové píčky pro tažení vlákna. Součástí linky pro tažení skelných vláken musí být samozřejmě také ocelový rekuperátor pro předehřívání vzduchu. Vlákna jsou pak převážně tažena gravitační silou [15].

Pro dosažení vyšší pevnosti se poté vlákna spřádají do různých tkanin nebo mřížek. Jednotlivá vlákna mohou být také impregnována a mohou tím pádem být také hydroizolační. Tkaniny a rouna ze skelných vláken jsou ekologicky a zdravotně nezávadné, odolné hou-  
bám, plísním a hmyzu. V hydroizolační folii zajišťuje její dostatečnou pevnost. Mezi líco-  
vou a rubovou vrstvou je rouno vloženo a všechny vrstvy jsou spojeny laminací.

## 9 TECHNOLOGICKÉ POSTUPY VÝROBY STŘEŠNÍCH FOLIÍ

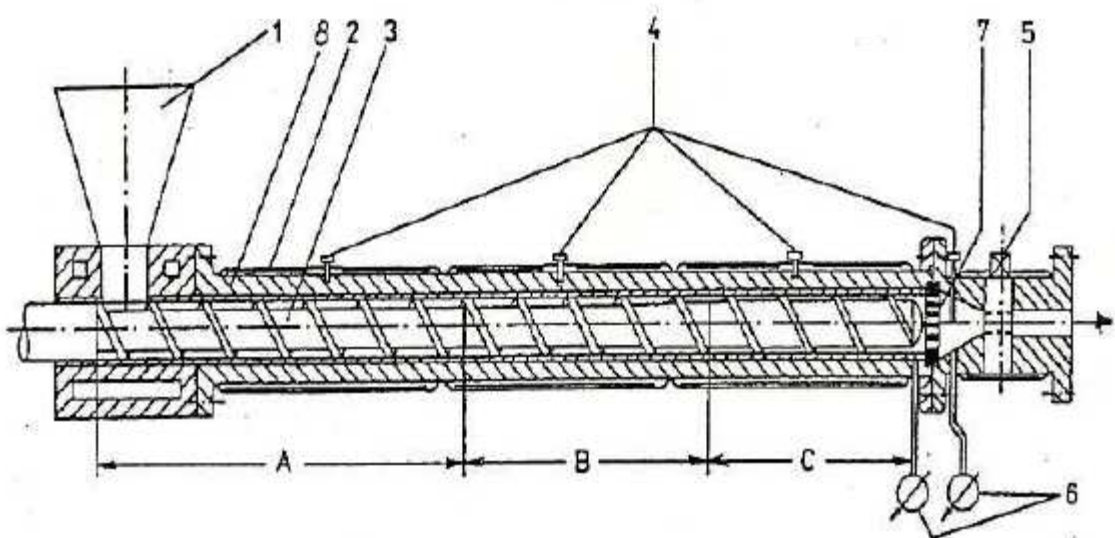
Folie jsou plošné útvary, jejichž šířka je mnohokrát větší než tloušťka. K jejich výrobě se používají různé metody. Ty nejčastější si zde připomeneme.

### 9.1 Vytlačování

Vytlačování je technologická operace při níž je hmota v plastickém stavu vytlačována hlavou o různém tvaru do volného prostoru. Používáme k tomu v menší míře pístové vytlačovací stroje a většinou šnekové vytlačovací stroje [16].

Pístové vytlačovací stroje se převážně používaly pro zpracování tvrdého PVC a reaktoplastů. V dnešní době se uplatňují při zpracování polytetrafluoreylenu, který vzhledem k jeho vysoké viskozitě nelze zpracovávat běžnými technikami [16].

Výroba folií probíhá kontinuálně, jsou proto vhodnější šnekové vytlačovací stroje. Konvenční šnekový vytlačovací stroj zachycuje ve vstupním pásmu granulát a dopravuje jej směrem k hlavě za současného stlačení. V přechodovém pásmu je hmota plastikována, promíchávána a dále dopravována vpřed. Následně je výstupním pásmem materiálově i teplotně homogenní tavenina kontinuálně pod tlakem přiváděna do vytlačovací hlavy. Na obrázku (obr. 3) je schéma konvenčního vytlačovacího stroje [16].



Obrázek 3 – Schéma šnekového vytlačovacího stroje [16]

Legenda k obrázku 3 – Schéma šnekového vytlačovacího stroje:

1 – násypka	A – vstupní část
2 – elektrické odporové topení	B – přechodová část
3 – šnek	C – výstupní část
4 – termočlánek	
5 – regulační ventil tlaku	
6 – snímače tlaku	
7 – lamač	
8 – pouzdro	

### 9.1.1 Vytlačovací stroj

Základním funkčním prvkem vytlačovacího stroje je šnek (viz obr 3). Šnek je součástí stroje, která je opatřena drážkou. Podle zpracovávaného materiálu rozlišujeme různé typy a tvary šneků, které plní tyto funkce:

- Dopravní – šnek dopravuje materiál od násypky směrem k vytlačovací hlavě
- Temperační – taví materiál a sjednocuje teplotu taveniny
- Homogenizační – míchá taveninu a sjednocuje její vlastnosti
- Kompresní – stlačuje materiál[17].

Dále jsou také na šnekové vytlačovací stroje jsou kladeny různé požadavky. V zásadě je můžeme definovat takto:

- Velká vytlačovací výkonnost úměrná otáčkám
- Rovnoměrná doprava taveniny, bez pulzací
- Vytlačování taveniny bez orientace
- Poskytnutí místně i časově rovnoměrné teploty taveniny
- Homogenní zamíchání polymeru se všemi přísadami
- Vytlačování bez pórů, bublinek a plynných, těkavých podílů.

Protože každý proces vyžaduje jiné podmínky používáme pro jejich zajištění buď jednošnekové nebo vícešnekové stroje. Jednošnekové stroje poté dále přizpůsobujeme řešenému procesu tvarem šneku, jeho stoupáním a délkou. Měnit se může také vzájemný poměr jednotlivých sekcí a jejich délka, především v závislosti na použitém materiálu, požadovaném výkonu vytlačování a funkci šneku. Na vytlačovací stroj je následně připojena vytlačovací hlava. Její tvar se také liší podle typu výrobku a použitého materiálu. Pro výrobu folií používáme ploché vytlačovací hlavy.

### 9.1.2 Plochá vytlačovací hlava

Vytlačovací hlava je část stroje, v níž materiál dopravovaný šnekem získává definitivní tvar. Hlava musí zajišťovat pravidelný tok materiálu, nesmí obsahovat mrtvá místa, ve kterých by se natolik zdržel až by došlo k jeho degradaci. Ploché hlavy jsou také často označovány jako širokoštěrbinové [16].

Tavenina je v celé šíři vytlačovací hlavy (až 2m) rozváděna rozvodným kanálem. Její tok je následně regulován brzdným můstkem se stavěcími šrouby. Většinou je nutné podpořit tok v krajních částech hlavy zvětšením tokového kanálu a naopak omezit tok středem hlavy. Za těmito dvěma částmi následuje relaxační komora a výstupní šterbina v níž tavenina dostává konečný tvar i rozměry [16].

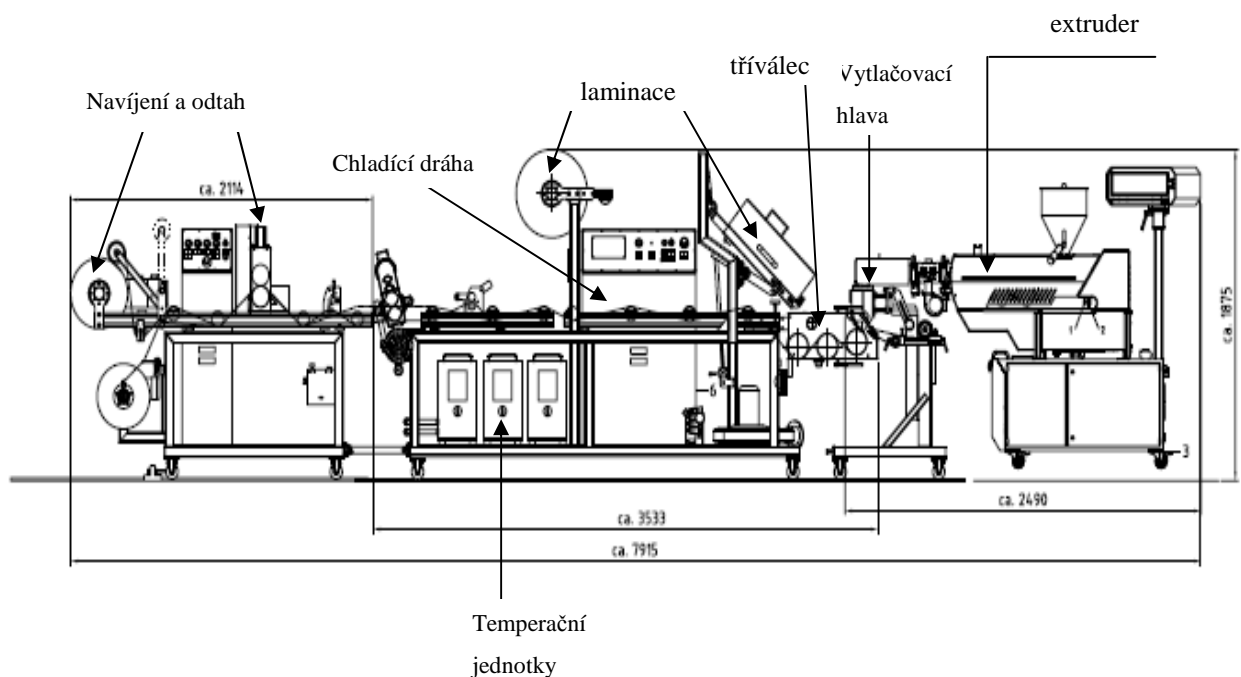
Podle tvaru rozvodného kanálu rozlišujeme tři typy plochých vytlačovacích hlav: tvaru T, tvaru rybího ocasu a „ramínka na šaty“. U první zmiňované je obtížná distribuce taveniny v celé šíři, u dalších dvou už je výskyt mrtvých míst minimální, ale jsou obtížněji nastavitelné na jiné vlastnosti taveniny [16].

### 9.1.3 Laboratorní linka Dr. Collin

Laboratorní linka Dr. Collin se používá pro jednoduché a rychlé vyrobení folií pro testování v laboratorních podmínkách. Zavádění výroby testovacích folií by bylo na velké výrobní lince velmi náročné a ztrátové. Tato laboratorní linka se skládá z extruderu o průměru 30 mm s délkou 25D. Na něj navazuje vytlačovací hlava a další části linky. Ty jsou vyobrazené a popsané na obrázku níže (obrázek 4). Tato linka je uzpůsobená pro výrobu folií z TPO, EVA, PVC o tloušťkách 0,5–1,5 mm. Pro výrobu folií z PE, PP a plněného PP i PE

se udávají dosažitelné tloušťky 15  $\mu\text{m}$ –200  $\mu\text{m}$ . Také TPO lze zpracovávat plněné a to až do 70% obsahu minerálních plniv.

Extruder je vybaven čtyřmi topnými pásy, jejichž teplotu reguluje několik teplotních regulátorů. Všechna data jsou kontrolována a řízena mikroprocesorem a komunikační port přenáší všechna data do připojeného počítače. Tento extruder je schopný při otáčkách 5–240 otáček za minutu dosáhnout při vytlačování PP nebo PE maximálního výkonu 15 kg/h a při vytlačování TPO 30 kg/h.



Obrázek 4 – Laboratorní linka Dr. Collin

Protože je tato linka vybavena pouze jedním extruderem neumožňuje výrobu koextrudovaných výrobků. Výroba nevyztužených produktů je prováděna jedním průchodem linkou, v případě výroby produktů s výztuží je konečný produkt vyráběn dvěma průchody.

#### Popis zařízení:

- **Vytlačovací stroj** - jednošnekový vytlačovací stroj, průměr šneku 30 mm, délka šneku 25-32D. Pracovní válec obsahuje čtyři temperované zóny. Pro výrobu TPO HIF byla použita varianta s délkou šneku 32D s evakuační zónou tavení-

ny, napojenou na vývěvu. Snímače tlaku jsou umístěny před i za sítím taveniny.

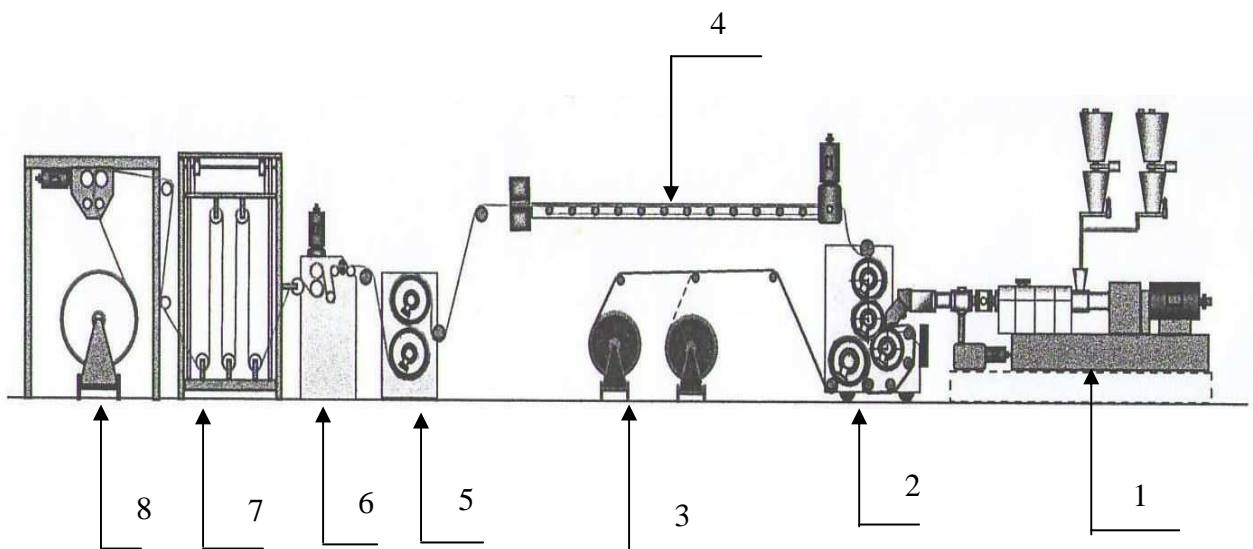
- **Vytlačovací hlava a adaptér** - širokoštěrbinová hlava šířky 300 mm, rozevření od 0,3 do 2,0 mm. Seřizování tloušťky vytlačovaného materiálu je prováděno manuálně pomocí 10-ti regulačních šroubů. Adaptér pro upnutí hlavy na extrudér buď přímo nebo pod úhlem 90° dolů.
- **Žehlící tříválec** - slouží k nánosování taveniny na výztužný materiál, finalizaci povrchu (dezénování) a chlazení výrobku. Válce mají průměr 144 mm a šířku 350 mm. Prostřední válec může být dle potřeby lesklý nebo matovaný. Štěrbina mezi 1. a 2. válcem je nastavitelná a válce jsou k sobě přitlačeny pomocí dvojice hydraulických válců s nastavitelným hydraulickým tlakem. Každý válec má samostatný pohon s plynulou regulací rychlosti. Tříválec může pracovat v uspořádání vertikálním i horizontálním.
- **Odvíječka** - kontinuální odvíjení výztužného materiálu (skleněného rouna, polyesterové mřížky) nebo polotovaru folie s výztuhou na žehlící tříválec. Součástí odvíječky je i IR ohřev pro předehřev výztužného materiálu či polotovaru před vstupem na tříválec.
- **Temparační agregáty (3x)** - slouží pro temperaci jednotlivých válců tříválce v rozmezí teplot 20–150°C. Temperace je prováděna uzavřeným vodním okruhem.
- **Chladicí dráha a pomocný odtah** - chladicí dráha slouží k dochlazení produktu na okolní teplotu a odtahem je materiál odebírán od tříválce. Válce odtahu jsou pogumované a přitlačeny vlastní vahou.
- **Ořez okrajů** - pro silnější folie je zařazen ořez okrajů pomocí kotoučových nožů s motorickým pohonem. Variantně je pro slabší folie k dispozici i ořez žiletkový.
- **Odtahovací a navíjecí jednotka** - odtahování folie od ořezávání okrajů k navíjecí jednotce. Válce odtahu jsou pogumované a přitlačeny pomocí dvojice

pneumatických válců. Navíječka je vybavena ještě dvojicí pomocných navíječek pro navíjení ořezaných okrajů.

- **Řízení** - linka je napojena na přenosné PC a veškeré parametry procesu (teploty, tlaky, otáčky...) jsou monitorovány a zaznamenávány pomocí technologického softwaru VISUAL FECON.

#### 9.1.4 Provozní linka Berstorff

Výrobní linka je vybavena dvěma vylačovacími stroji pro koextruzi, tzn. že se dá optimalizovat složení jednotlivých vrstev s ohledem na cenu i vlastnosti izolačních folií (např. zařazením vratného materiálu). Linka je navržena tak, že při výrobě nevyztužených produktů je produkt vyroben jedním průchodem linkou, v případě výroby produktů s výztuží je konečný produkt vyráběn dvěma průchody.



Obrázek 5 – Schéma provozní linky Berstorff

Legenda k obrázku 5:

- |                                  |                              |
|----------------------------------|------------------------------|
| 1 - Extruder                     | 5 - Chladicí válce           |
| 2 - Žehlící a laminační tříválec | 6 - Odtah a ořezávání okrajů |
| 3 - Odvíjení výztuže             | 7 - Zásobník s tanečnickem   |
| 4 - Chladicí dráha               | 8 - Navíjení                 |



Pomocí dvoušnekového extruderu a širokoštěrbinové hlavy je tavenina přiváděna na výztužný materiál do štěrbinové hladicího tříválce. V prvním kroku je vyroben polotovar výztužné vrstvy s nánosem spodní vrstvy plastu, polotovar je po zchlazení navíjen. Tento polotovar je znovu vložen do odvíječky stroje a v druhém kroku je na stranu výztužného materiálu opět přivedena tavenina, tentokrát vrchní vrstvy polymeru. Ve štěrbině žehlícího tříválce je materiál spojen a povrchově finalizován (dezénován). Rychlost linky je 1 až 10 m/min, výkon ca. 1000 kg/hod. Linka umožňuje výrobu HIF šířky 2 m extruzní technologií na bázi PVC i na bázi TPO, v provedení bez výztuhy nebo s vloženou výztuhou (PES mřížka, skleněné rouno).

#### **Popis výrobního zařízení:**

- ***Odvíječka*** - kontinuální odvíjení, spojování a doprava skleněného rouna, polyesterové mřížky nebo polotovaru folie s výztuhou na žehlící tříválec.
- ***Zásobovací a dávkovací zařízení*** - je určeno pro plynulé zásobování vytlačovacích strojů a je umístěno nad vytlačovacími stroji. Zásobovací a dávkovací zařízení je pro každý vytlačovací stroj samostatné. Umožňuje dávkovat masterbatch, granulát, prášek či drcený odpad. Součástí zařízení je separátor kovových částí.
- ***Vytlačovací stroj A*** - dvoušnekový vytlačovací stroj, průměr šneku 81 mm, délka šneku 24D. Pracovní válec obsahuje tři chladicí/vyhřívané zóny. Výměna síta je ovládána hydraulicky a probíhá bez přerušení výroby. Snímače tlaku jsou umístěny před a za filtrem taveniny. Pro vyrovnání tlaku taveniny je zařazeno zubové čerpadlo.
- ***Vytlačovací stroj B*** - dvoušnekový vytlačovací stroj, průměr šneku 65 mm, délka šneku 24D. Pracovní válec obsahuje tři chladicí/vyhřívané zóny.
- ***Společný chladicí agregát*** - umožňuje dochlazování vytlačovacích strojů. Chlazení je prováděno vodním uzavřeným okruhem přes tepelný výměník.
- ***Společná evakuační zóna*** - slouží k odsávání výparů uvolněných z plastifikované směsi.

- **Širokoštěrbinová vytlačovací hlava** - maximální šířka štěrbin 2150 mm. Otevření štěrbin v rozsahu 0,5 až 2,5 mm. Dvanáct topných zón.
- **Žehlicí tříválec** - slouží k nánosování taveniny na výztužný materiál, leštění a chlazení výrobku. Válce o průměru 500 mm mají šířku 2200 mm a jsou uloženy horizontálně nad sebou. Prostřední válec může být dle potřeby dezénovací.
- **Chladicí válec a dráha** - slouží k dochlazení produktu na okolní teplotu.
- **Temperační jednotka** - poskytuje požadovanou kapacitu chlazení/topení jednotlivě všem válcům. Skládá se z jednotlivých kontrolních obvodů opatřených výměníky a čerpadly.
- **Měření tloušťky** - plynulé radiometrické měření tloušťky a plošné hmotnosti se zobrazením naměřených hodnot na displeji. Měřicí rozsah je 500 až 5000 g/m<sup>2</sup>.
- **Odtah** - odtahování folie z chladicí jednotky k ořezávání okrajů a navíjecí jednotce.
- **Navíjecí jednotka** - navíjení polotovaru nebo konečného produktu na velkonábaly. Maximální šířka navíjeného materiálu 2100 mm, maximální průměr hotové role 1200 mm.

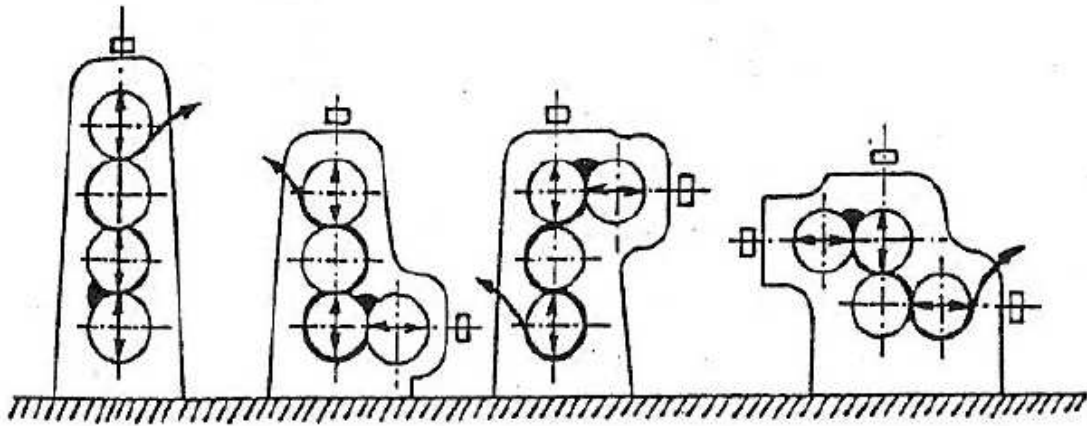
## 9.2 Válcování

Folie se mohou kromě vytlačování širokoštěrbinovou hlavou připravit také válcováním. Takto se vyrábí většinou PVC folie, protože z hlediska tepelného namáhání PVC je tato technologie bezpečnější. PVC folie byly pro srovnání také testovány současně s TPO foliemi (viz experimentální část) a proto si v krátkosti zmíníme i válcování [16].

Válcování je technologická operace při níž je materiál ve formě pásku zaváděn do štěrbin mezi válci a rozdílnou rychlostí jejich otáčení proti sobě je míchán a je mu dodáván přesný tvar. Hlavní činnost v této operaci vykonávají víceválcové stroje. Ty jsou zapojovány do výrobních linek, které jsou velmi investičně náročné [16].

Hlavní součástí výrobní linky je víceválcový stroj, nazývaný též kalandr. Rozdíl je mezi ohřívacími kalandry a kalandry zapojenými do linek. Na rozdíl od míchacího dvouválce

víceválcové stroje zapojené do linek poskytují přesné operace vedoucí k finálním výrobkům. Tyto kalandry se rozdělují podle počtu a uspořádání válců. Pro výrobu folií se převážně používají pětiválcové stroje uspořádání „L“ (ostatní typy kalandrů na obr. 6) [16].



Obrázek 6 – Typy víceválcových strojů, zleva ve tvaru „I“, „L“, „F“ a „Z“ [16]

Stroj dopravuje materiál dopředu následujícím způsobem. Z ohřívacího dvouválce je zásobována pásem materiálu první štěrbinou. Přebytečná hmota nemůže projít štěrbinou a hromadí se před ní. Tyto návalky vznikají postupně před všemi štěrbinami a tak vždy za každou štěrbinou vzniká kvalitnější povrch. Intenzitu míchání materiálu ovlivňuje rozdíl obvodových rychlostí válců. Tento rozdíl se nazývá skluz [16].

Jak je zřejmé z předchozího textu, válcovací stroje nemohou pracovat samostatně. Zapojíme je tedy do investičně a prostorově náročných linek. Výrobní linky jsou složité, protože moderní válcovací stroje pracují vysokými rychlostmi a je potřeba zajistit odtah, chlazení a navíjení hotových folií. Mohou být zapojeny i další nástroje, především ovládací a kontrolní prvky, měření tloušťky folie, ořez a podobně [16].

## **II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST**

## 10 TESTOVANÉ VLASTNOSTI TPO FOLIÍ

### 10.1 Urychlené povětrnostní stárnutí

Urychlené povětrnostní stárnutí bylo simulováno na třech sadách vzorků. Jedna sada byla nasazena v podniku Fatra do QUV Testeru. Další dvě sady byly testovány v xenotestu dostupném na Fakultě Technologické. Obě sady vzorků byly nejprve kontrolovány po 48 h a to až do počtu hodin 144. Poté byly již kontrolovány po 168 hodinách.

První sada vzorků testovaných v zázemí fakulty obsahovala celkem deset kusů vzorků. Z toho bylo 9 kusů TPO folií a jeden kus PVC folie s jedním typem změkčovadla (dioktyl ftalát - DOP). Druhá sada vzorků se skládala ze tří vzorků TPO folií a dvou kusů PVC s jiným změkčovadlem než v první sadě. Podrobnější popis složení, rozměrů, vzhledu a přípravy vzorků je v kapitole 11.1.

Z omezených možností obou použitých přístrojů nebylo možné simulovat komplexní povětrnostní stárnutí. Tedy tento test se neskládal ze všech faktorů povětrnostního stárnutí uvedených výše v kapitole 6. Přístroj QUV Tester ozařoval vzorky především UVB zářením a ve zvoleném režimu simuloval denní a noční dobu. Vzorky byly také ve zvoleném režimu zkrápěny přečištěnou vodou. V xenotestu na folie působilo širší spektrum vlnových délek podle zvolené výbojky. Neomezovalo se tedy pouze na UVB záření. Vzorky v tomto případě nebyly zkrápěny vodou ani nebyla možnost střídání denní a noční doby.

Po dohodnutých časových intervalech nejprve 48 hodin (poté 168 hodin) byly vzorky obou sad z xenotestu vyjímány, po zchlazení váženy pro zjištění úbytku hmotnosti a poté byl proveden test změny barevnosti spolu s vizuální kontrolou lícové i rubové strany na přítomnost trhlin, puchýřů a jiných defektů.

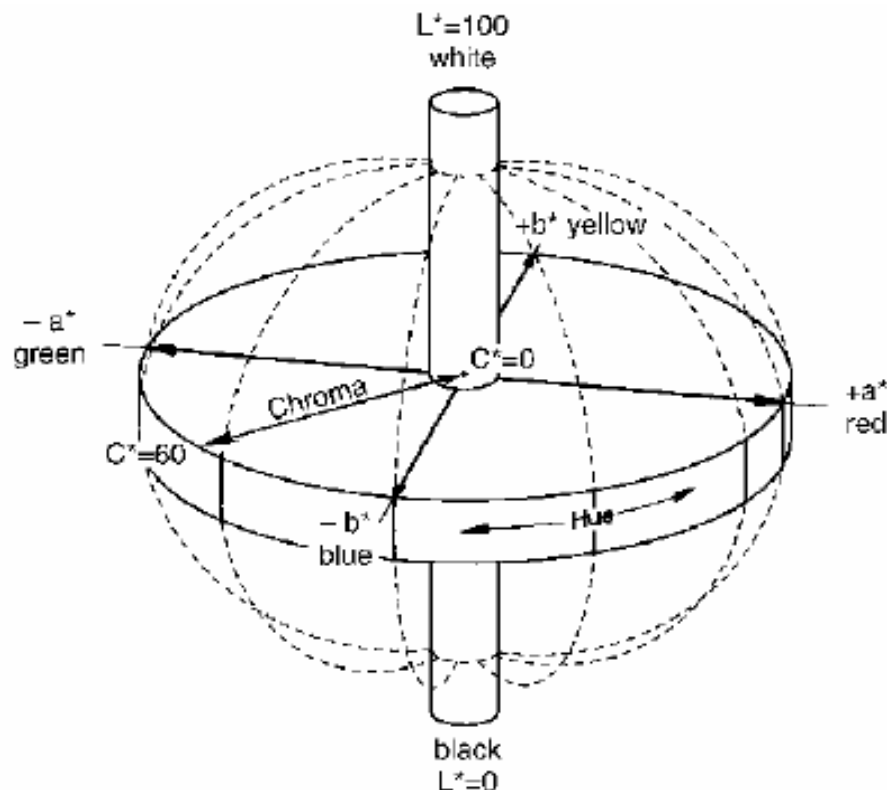
#### 10.1.1 Provedení experimentu

Vzorky o rozměrech rámečků (viz kapitola 11.1) byly pomocí čtyř šroubků upevněny do těchto kovových rámečků a to vždy světlou, lícovou stranou nahoru. Vzorky byly v napnutém stavu, pevně uchycené. Rámečky byly pomocí trnu upevněny do xenotestu, vždy světlou stranou folie, určenou k expozici do středu přístroje co nejbližší k výbojce. Uvedením do chodu přístroje začala jeho vnitřní část se upevněnými vzorky rotovat kolem výbojky pro rovnoměrnost dopadajícího záření. Po stanovené době 48 hodin byl experi-

ment zastaven a vzorky byly po zchladnutí vyjmuty ven a poté pokračovaly k dalšímu experimentu – stanovení hmotnostního úbytku a změny barevnosti. Po uplynutí 144 hodin, kdy byly vzorky vyjímány a kontrolovány po 48 hodinách, byl interval pro měření prodloužen na 168 hodin.

## 10.2 Změna barevnosti

Změna barevnosti nebo barvy byla měřena na základě popisu barvy standartu a následného srovnání exponovaného vzorku. K popisu barvy lze použít tři hodnoty, které ji definují. Jde o odstín, sytost a jas. Odstín je přirovnání barvy k některé ze spektrálních barev (modrá, zelená, žlutá a červená). Sytost je poměr intenzity světla dané barvy (vlnové délky) k celkové intenzitě, tj. změna z šedé barvy do čistě monochromatické barvy. Jas poté vyjadřuje množství světla odraženého vzorkem. Veškeré barvy můžeme popsat několika barevnými systémy nebo též prostory. Na obrázku (obrázek 7) je znázorněn barevný prostor  $L^*a^*b^*$ , který používá dostupný přístroj Hunter Lab.



Obrázek 7 – Barevný prostor CIE  $L^*a^*b^*$  z roku 1976

### 10.2.1 Provedení měření barevnosti

Ve smluvených časových intervalech nejprve 48 hodin a poté 168 hodin bylo prováděno měření změny barevnosti. Dostupný byl přístroj Hunter Lab Ultra Scan D65 se softwarem Easy MatchQC. Tento přístroj pracuje na principu převodu klasických souřadnic barevnosti XYZ do stupnice  $L^*a^*b^*$ . Kde  $L^*$  je jas, v hodnotách od nuly do sta,  $a^*$  udává chromatičnost tedy (-) zelená – červená (+) a  $b^*$  poté označuje (-) modř – žlutě (+). Celkovou barevnou diferencí, jejíž hodnotu potřebujeme znát poté připojený software vypočte podle rovnice 1:

$$\Delta E^* = \sqrt{L^{*2} + a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

Měření bylo realizováno na 3 místech stejného vzorku a následně vyhodnocen aritmetický průměr těchto hodnot. Výsledné hodnoty změny barevnosti  $\Delta E$  jsou v závislosti na čase zobrazeny ve výsledkové části.

### 10.3 Tahové zkoušky

Tahová zkouška je jednou s z nejdůležitějších a nejvíce používaných mechanických zkoušek. Provádí se dle normy ČSN EN ISO 527-1, 527-2. Spočívá v postupném zatěžování zkušebních vzorků tahovým napětím až do jejich přetržení. Při zkoušce tahem je materiál deformován jednoosým tahem, až dojde k jeho porušení. Je to jedna z nejdůležitějších zkoušek materiálu, protože v praxi se vyskytuje namáhání tahem nejčastěji.

Pevnost v tahu byla dříve vyjadřována silou vztaženou na jednotkový průřez, tedy napětím potřebným k přetržení hmoty. Zavedením dokonalejších systémů snímání napětí a deformace a jejich grafickým záznamem nyní získáváme pracovní diagramy. V těchto diagramech pak vidíme celou tahovou křivku, která nám poskytuje přesnější informace o deformačním chování materiálů za různých podmínek zkoušení [18].

Tato zkouška se provádí pomocí trhačího stroje. Podstatou tohoto zařízení jsou dvě čelisti, z nichž jedna – převážně ta horní je spojena se siloměrným čidlem a druhá se může od první vzdalovat konstantní rychlostí. Mezi tyto čelisti upneme zkušební těleso - tvar a rozměry jsou definovány normou nebo typem materiálu. Výsledkem zkoušky je diagram síla – protažení, který se musí přepočítat do souřadnic napětí – deformace. Moderní trhačí stroje tento přepočet provádí automaticky ze zadaných rozměrů zkušebního tělesa.

### 10.3.1 Provedení tahové zkoušky

Mikrotělíška vyseknuté jak z exponovaných (stárnutých) vzorků TPO folií a PVC, tak ze standardů folií o rozměrech uvedených podrobněji v kapitole 11.2 této práce byly upnuty do čelistí tahového stroje Instron 4301 a bylo zahájeno měření. Od každého vzorku bylo tahem zkoušeno 5 kusů mikrotělíšek jak standardních, tak stárnutých vzorků. Stroj byl připojen na počítač, který následně vyhodnotil všechna měření a zobrazil průměrné hodnoty napětí a deformace pro všechny vzorky z pěti provedených měření. Tyto hodnoty jsou uvedeny v části 14 této práce. Testování folií bylo provedeno podle normy ISO 527-2 na zkušebních těliscích 1BB (tvar a rozměry na obr. 9) se 100 N měřicí hlavou za rychlosti pohybu čelistí 50 mm/min. Vzdálenost čelistí byla nastavena na 2,3 mm. Velikost vzorku byla definována již zmíněnou normou. Délka zkušebního tělesa je 32 mm, šířka 2 mm, tloušťka se zadává před započítáním měření.

## 10.4 Hmotnostní úbytek při urychleném stárnutí

Hmotnostní úbytek při expozici světlem simulujícím sluneční záření může být někdy velmi znatelný. Při expozici slunečním světlem jsou vzorky často vystaveny i zvýšené teplotě, která může způsobit migraci různých přísad. Jedná se především o migraci změkčovadel nebo stabilizátorů. V případě polymerů náchylných na tepelné a světelné namáhání toto „ztracení“ přísad vyvolá velkou a rychlou ztrátu mechanických vlastností. Pokud se jedná o změkčovadla v případě PVC je ztráta mechanických vlastností velmi zásadní. PVC v tomto případě velmi ztvrdne a poté na jakkoli malou sílu na něj působící reaguje porušením. Sledování hmotnostního úbytku v závislosti na čase expozice světlem nám může pomoci zlepšit použité stabilizační systémy nebo vhodnost materiálu pro různé podmínky. Znatelné úbytky hmotnosti, různé defekty způsobené jejich vytavováním a migrací na povrch materiálu napovídají o nevhodně použitých přísadách nebo jejich nekompatibilitě.

### 10.4.1 Provedení pokusu

Sledování hmotnostních úbytků testovaných vzorků bylo prováděno souběžně s expozicí vzorků v xenotestu a QUV Testeru. Časové intervaly pro vážení vzorků byly totožné. Tedy nejprve až do 144 hodin byly vzorky váženy po 48 hodinách a poté po týdnů, tedy 168 hodinách. V případě QUV testeru byly časové intervaly 1000 hodin. Vzorky byly po vyjmutí z xenotestu ochlazeny na laboratorní teplotu a poté i s kovovým rámečkem a upí-



nacími šroubky umístěny postupně na váhy Kern 870. Po ustálení vah byla odečtena celková hmotnost, tj. vzorek a rámeček. Při znalosti počáteční hmotnosti vzorků před expozicí a hmotnosti prázdného rámečku jsem následně v MS Excel provedla výpočet úbytků hmotnosti vzorků, vztažených k původní hmotnosti vzorků a tyto úbytky jsem vyjádřila v procentech v závislosti na čase expozice vždy pro každý vzorek. Tabulka výsledků a grafické znázornění jsou podrobně popsány v části 15 této práce.

## 11 POUŽITÉ VZORKY

Pro měření a povětrnostní stárnutí v xenotestu byly sestaveny dvě sady vzorků v následujícím složení. Tyto vzorky byly velikostně přizpůsobeny upevňovacím rámečkům, jež byly umístěny do xenotestu. Rozměry a vlastnosti těchto vzorků jsou uvedeny v kapitole 11.1, stejně jako jejich složení.

Níže v tabulce jsou rozepsány obě sady, jednotlivé vzorky a číslo rámečku, ve kterém byly umístěny pro expozici v xenotestu (tabulka 2 a 3). Neshodující se čísla vzorků a rámečků u některých z nich nejsou chybou, ale jsou tak záměrně. Z důvodu vynechání vzorku číslo 4 a přehlednosti jsme vzorky nepřechíslovali a některé byly do xenotestu nasazeny dvakrát.

Tabulka 2 – Sada vzorků č. 1

pořadové číslo	číslo rámečku	číslo receptury
1	1	Br 13/2
2	2	Br 13/3
3	3	Br 13/1
5	5	Br 13/V1
6	6	FBr 13/V1
7	7	FBr 13/V3
8	8	PVC
5	9	Br 13/V1
6	10	FBr 13/V1
1	4	Br 13/2

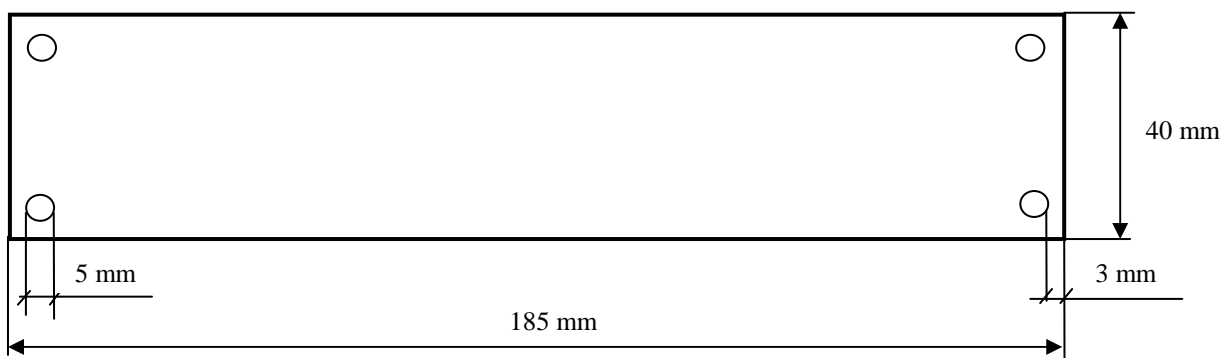
Protože expozici vzorků v rámečcích 4 až 10 jsme ukončili na 144 hodinách, bylo možné do nich nasadit novou sadu vzorků. Její složení je uvedeno v tabulce níže (tabulka 3). Pro špatné osvědčení prvního typu PVC v xenotestu, byly nasazeny dva vzorky PVC s jiným změkčovadlem. Podrobnosti jsou uvedeny v kapitole 11.1.

Tabulka 3 – Sada vzorků č. 2

pořadové číslo	číslo rámečku	číslo receptury
1	4	Br 13/2
2	5	Br 13/3
3	6	Br 13/1
4	7	PVC 2
5	8	PVC 2

### 11.1 Vzorky pro urychlené stárnutí v xenotestu, barevnost a úbytek hmotnosti

Testované folie byly připraveny vytlačováním přes širokoštěrbinovou hlavu na laboratorní lince Dr. Collin. Z těchto folií jsem uřezala ve směru vytlačování vzorky o rozměrech uvedených na obrázku (obrázek 8). Podmínky přípravy jednotlivých folií, jejich receptury a složení jsou uvedeny níže.



Obrázek 8 – Tvar a rozměry vzorku pro expozici v xenotestu

V tabulce níže (tabulka 4) jsou následně uvedeny podle pořadových čísel rámečků průměrné tloušťky všech vzorků pro urychlené stárnutí v xenotestu. Jedná se o aritmetický průměr ze tří měření. Hodnoty jsou uvedeny pro obě sady vzorků. V závorkách jsou uvedeny čísla

vzorků podle tabulky 2 a 3. Pokud čísla v závorce uvedena nejsou shoduje se číslo rámečku s číslem vzorku, který je v něm umístěn.

Tabulka 4 – Průměrná tloušťka vzorků

SADA 1		SADA 2	
č. rámečku a vzorku	tloušťka [mm]	č. rámečku a vzorku	tloušťka [mm]
1	1,3	4 (1)	1,3
2	1,35	5 (2)	1,35
3	1,35	6 (3)	1,35
4 (1)	1,3	7 (PVC 2)	1,2
5	1,3	8 (PVC 2)	1,2
6	1,34	6	-
7	1,3	7	-
8(PVC)	1,2	8	-
9 (5)	1,3	9	-
10 (6)	1,34	10	-

### 11.1.1 Receptura Br 13/2 (vzorek č.1)

Vzorek číslo 1, je stejně jako ostatní vzorky třívrstvá TPO hydroizolační folie, která se od ostatních vzorků liší složením lícové a rubové vrstvy. Výztužná vrstva, v tomto případě skelné rouno zůstala zachována. Tento vzorek byl v xenotestu exponován po dobu 1272 hodin. V průběhu expozice u něj byla naměřena změna barevnosti nejdříve v 48 hodinových intervalech a poté v týdenních intervalech. Ve stejném čase bylo provedeno i vážení pro stanovení úbytku hmotnosti. Podrobné výsledky jsou komentovány ve výsledkové části. Níže v tabulce je rozepsána obecná receptura této testované folie (tabulka 5).

Tabulka 5 – Obecná receptura vzorku č. 1 (TPO HIF Br 13/2)

Vrstva			Lícová	Rubová
Receptura			Br 13/2	Br 13 spodek 3
Složka	Popis složky		počet dílů	počet dílů
TPO I.	PP typ TPO	75 ShA, ITT 0,6 g/10min	13,00	13,00
TPO II.	PP typ TPO	90 ShA, ITT 14 g/10min	28,00	31,00
Hydroxid hořečnatý	minerální retardér hoření	D <sub>50</sub> 1,25-1,65 mm, povrchově upr. pro PO	40,00	40,00
Retardér hoření Br I.	bromovaný retardér hoření	ethane-1,2-bis(pentabromophenyl)	7,00	7,00
ATO	minerální retardér hoření	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,50	3,50
LDPE	nosič MB		2,50	2,50
UV NOR HALS II.	N-alkoxy HALS s nízkou bazicitou	N-oktyloxy derivát 2,2,6,6-tetrametyl-1-piperidinetanolu	1,00	
MB barevný	světle šedý	TiO <sub>2</sub> rutil + saze / LDPE	5,00	
MB barevný	tmavě šedý	TiO <sub>2</sub> rutil + saze / LDPE		3,00
Celkem			100,00	100,00
Výztuž	skelné rouno			35 g.m <sup>-3</sup>

Tato folie byla, jak je zmíněno výše, vyrobena v laboratorních podmínkách na lince Dr. Collin. Popis linky je uveden v kapitole 9.1.3. Podmínky přípravy folie vytlačováním na této lince jsou shrnuty v následující tabulce (tabulka 6).

Tabulka 6 – Podmínky při přípravě folie TPO HIF Br 13/2 (vzorek č. 1)

Datum výroby (Dr. Collin)		21.8.2008	20.8.2008
Vrstva		lícová	rubová
	jednotky		
<b>Extruder</b>	(°C)	190/200/210/220/220/220	
Šnek	(RPM)	100	92
Zatížení	(A)	5,1	5,4
Tlak taveniny	(bar)	28	30
Evakuace	(bar)	-0,5	
Hlava	(°C)	220/220/220	
	(mm)	0,6	
<b>Předeřev laminace (IR)</b>	(°C)	250	-
<b>Tříválec (1/2/3)</b>	(°C)	75/75/30	
Štěrbina	(mm)	1,1	0,5
		rolna	rolna
Přítlak	(bar)	200	
<b>Rychlost</b>	(m/min)	1,0	1,0
ITT (g/10 min)	(190°C/5kg)	16,014	
	(230°C/5kg)	37,270	

## 11.1.2 Receptura Br 13/3 (vzorek č. 2)

Vzorek č. 2, taktéž hydroizolační folie na bázi TPO, byla připravena na vytlačovací laboratorní lince Dr. Collin za uvedených podmínek. Ve srovnání s prvním vzorkem se liší složením rubové a lícové vrstvy a to především v počtu dílů složek a použitém UV stabilizátoru. V následujících tabulkách je shrnuto složení a podmínky vytlačování (tabulka 7 a 8). Zvláštností této receptury je, že neobsahuje žádný UV stabilizátor, pouze titanovou bělobu.

Tabulka 7 – Obecná receptura hydroizolační folie Br 13/3 (vzorek č. 2)

Vrstva			Lícová	Rubová
Receptura			Br 13/3	Br 13 spodek 3
Složka	Popis složky		počet dílů	počet dílů
TPO I.	PP typ TPO	75 ShA, ITT 0,6 g/10min	13,00	13,00
TPO II.	PP typ TPO	90 ShA, ITT 14 g/10min	29,00	31,00
Hydroxid hořečnatý	minerální retardér hoření	D <sub>50</sub> 1,25-1,65 mm, povrchově upr. pro PO	40,00	40,00
Retardér hoření Br I.	bromovaný retardér hoření	ethane-1,2-bis(pentabromophenyl)	7,00	7,00
ATO	minerální retardér hoření	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,50	3,50
LDPE	nosič MB		2,50	2,50
UV NOR HALS I.	N-alkoxy HALS s nízkou bazicitou	reakční produkt N,N'-etan-1,2-diy l bis(1,3-propandiaminu) s derivátem triazinu		
MB barevný	světle šedý	TiO <sub>2</sub> rutil + saze / LDPE	5,00	
MB barevný	tmavě šedý	TiO <sub>2</sub> rutil + saze / LDPE		3,00
Celkem			100,00	100,00
Výztuž	skelné rouno			35 g.m <sup>-3</sup>

Tabulka 8 – Podmínky výroby TPO HIF Br 13/3 (vzorek č. 2)

Datum výroby (Dr. Collin)		21.8.2008	20.8.2008
Vrstva		lícová	rubová
	jednotky		
<b>Extruder</b>	(°C)	190/200/210/220/220/220	
Šnek	(RPM)	100	92
Zatížení	(A)	5,0	5,4
Tlak taveniny	(bar)	26	30
Evakuace	(bar)	-0,5	
Hlava	(°C)	220/220/220	
	(mm)	0,6	
<b>Předeřev laminace (IR)</b>	(°C)	250	-
<b>Tříválec (1/2/3)</b>	(°C)	75/75/30	
Štěrba	(mm)	1,1	0,5
		rolna	rolna
Přítlak	(bar)	200	
<b>Rychlost</b>	(m/min)	1,0	1,0

## 11.1.3 Receptura vzorku Br 13/1 (vzorek č. 3)

Vzorek číslo 3 se také liší složením a počtem dílů jednotlivých složek. Shrnutí opět v tabulkách níže (tabulky 9 a 10). V tabulce jsou i prázdná pole, tato absence některých údajů není chybou, ale záměrným vypuštěním některých složek pro dosažení jiného typu folie.

Tabulka 9 – Obecná receptura folie Br 13/1 (vzorek č. 3)

Vrstva			Lícová	Rubová
Receptura			Br 13	Br 13 spodek 1
Složka	Popis složky		počet dílů	počet dílů
TPO I.	PP typ TPO	75 ShA, ITT 0,6 g/10min	13,00	13,00
TPO II.	PP typ TPO	90 ShA, ITT 14 g/10min	28,00	31,00
Hydroxid hořečnatý	minerální retardér hoření	D <sub>50</sub> 1,25-1,65 mm, povrchově upr. pro PO	40,00	40,00
Retardér hoření Br I.	bromovaný retardér hoření	ethane-1,2-bis(pentabromophenyl)	7,00	7,00
ATO	minerální retardér hoření	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,50	3,50
LDPE	nosič MB		2,50	2,50
UV NOR HALS I.	N-alkoxy HALS s nízkou bazicitou	reakční produkt N,N'-etan-1,2-diyl bis(1,3-propandiaminu) s derivátem triazinu	1,00	
MB barevný	světle šedý	TiO <sub>2</sub> rutil + saze / LDPE	5,00	
MB barevný	tmavě šedý	TiO <sub>2</sub> rutil + saze / LDPE		3,00
Celkem			100,00	100,00
Výztuž	skelné rouno		35 g.m <sup>-3</sup>	

Tabulka 10 – Podmínky přípravy vzorku č. 3

Datum výroby (Dr. Collin)		3.6.2008	4.6.2008
Vrstva		lícová	rubová
	jednotky		
<b>Extruder</b>	(°C)	190/200/210/220/220/220	
Šnek	(RPM)	90	92
Zatížení	(A)	4,8	4,8
Tlak taveniny	(bar)	28	25
Evakuace	(bar)	-0,5	
Hlava	(°C)	220/220/220	
	(mm)	0,6	
<b>Předehřev laminace (IR)</b>	(°C)	-	250
<b>Tříválec (1/2/3)</b>	(°C)	75/75/30	
Štěrbina	(mm)	0,5	1,1
		rolna	rolna
Přítlak	(bar)	200	
<b>Rychlost</b>	(m/min)	1,0	1,0

## 11.1.4 Obecná receptura folie Br 13/V1 (vzorek 5)

Vzorek č. 5 se od předchozích vzorků folií liší nejen počtem dílů jednotlivých složek, ale především jiným typem antioxidantu. Jednotlivé složky jsou shrnuty v tabulce, stejně jako procesní parametry (tabulky 11, 12). Vynechání vzorku číslo 4 není chybou, pouze jsme z časových důvodů tuto folii vynechali z testování a vzorkům ponechali původní čísla.

Tabulka 11 – Shrnutí složení hydroizolační folie Br 13/V1 (vzorek 5)

Vrstva			lícová	rubová
Receptura			Br 13/V1	FBr 13 spodek 2
Složka	Popis složky		počet dílů	počet dílů
TPO I.	PP typ TPO	75 ShA, ITT 0,6 g/10min	13,00	13,00
TPO II.	PP typ TPO	90 ShA, ITT 14 g/10min	26,00	31,00
Hydroxid hořecnatý	minerální retardér hoření	D <sub>50</sub> 1,25-1,65 mm, povrchově upr. pro PO	40,00	40,00
Retardér hoření Br II.	bromovaný retardér hoření	Tetrabromobisphenol A bis (2,3-dibromopropyl ether)	8,00	8,00
ATO	minerální retardér hoření	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,00	4,00
Antioxidant	Stíněný fenol	Pentaerytritol Tetrakis(3-(3,5-ditercbutyl-4-hydroxyfenyl)propionat)	0,60	0,60
Procesní stab.	Organofosfit	Tris(2,4-ditercbutylfenyl)fosfit	0,40	0,40
UV NOR HALS I.	N-alkoxy HALS s nízkou bazicitou	reakční produkt N,N'-etan-1,2-diyl bis(1,3-propandiaminu) s derivátem triazinu	3,00	
MB barevný	světle šedý	TiO <sub>2</sub> rutil + saze / LDPE	5,00	
MB barevný	tmavě šedý	TiO <sub>2</sub> rutil + saze / LDPE		3,00
<b>Celkem</b>			<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Výztuž	skelné rouno		35 g.m <sup>-3</sup>	

Tabulka 12 – Procesní parametry výroby folie Br 13/V1

Datum výroby (Dr. Collin)		19.6.2008	18.6.2008
Vrstva		lícová	rubová
	jednotky		
<b>Extruder</b>	(°C)	190/200/210/220/220/220	
Šnek	(RPM)	100	90
Zatížení	(A)	5,4	4,3
Tlak taveniny	(bar)	26	22
Evakuace	(bar)	-0,5	
Hlava	(°C)	220/220/220	
	(mm)	0,6	
<b>Předehřev laminace (IR)</b>	(°C)	250	-
<b>Tříválec (1/2/3)</b>	(°C)	75/75/30	
Štěrbina	(mm)	1,1	0,5
		rolna	rolna
Přítlak	(bar)	200	
<b>Rychlost</b>	(m/min)	1,0	1,0



## 11.1.5 Receptura folie FBr 13/V1 (vzorek 6)

Hydroizolační folie FBr 13/V1, vzorek číslo 6 se od ostatních vzorků liší složením lícové a rubové vrstvy a podmínkami vytlačování. Všechny parametry a informace jsou shrnuty v tabulkách níže (tabulky 13 a 14).

Tabulka 13 – Obecné složení folie FBr 13/V1 (vzorek 6)

Vrstva			lícová	rubová
Receptura			FBr 13/V1	FBr 13 spodek 2
Složka	Popis složky		počet dílů	počet dílů
TPO I.	PP typ TPO	75 ShA, ITT 0,6 g/10min	13,00	13,00
TPO II.	PP typ TPO	90 ShA, ITT 14 g/10min	28,00	31,00
Hydroxid hořečnatý	minerální retardér hoření	D <sub>50</sub> 1,25-1,65 mm, povrchově upr. pro PO	40,00	40,00
Retardér hoření Br II.	bromovaný retardér hoření	Tetrabromobisphenol A bis (2,3-dibromopropyl ether)	8,00	8,00
ATO	minerální retardér hoření	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,00	4,00
Antioxidant	Stíněný fenol	Pentaerytritol Tetrakis(3-(3,5-ditercbutyl-4-hydroxyfenyl)propionat)	0,60	0,60
Procesní stab.	Organofosfit	Tris(2,4-ditercbutylfenyl)fosfit	0,40	0,40
UV NOR HALS I.	N-alkoxy HALS s nízkou bazicitou	reakční produkt N,N'-etan-1,2-diyl bis(1,3-propandiaminu) s derivátem triazinu	1,00	
MB barevný	světle šedý	TiO <sub>2</sub> rutil + saze / LDPE	5,00	
MB barevný	tmavě šedý	TiO <sub>2</sub> rutil + saze / LDPE		3,00
Celkem			100,00	100,00
Výztuž	skelné rouno		35 g.m <sup>-3</sup>	

Tabulka 14 – Procesní podmínky výroby folie FBr 13/V1

Datum výroby (Dr. Collin)		19.6.2008	18.6.2008
Vrstva		lícová	rubová
	jednotky		
<b>Extruder</b>	(°C)	190/200/210/220/220/220	
Šnek	(RPM)	95	90
Zatížení	(A)	4,4	4,3
Tlak taveniny	(bar)	22	22
Evakuace	(bar)	-0,5	
Hlava	(°C)	220/220/220	
	(mm)	0,6	
<b>Předehřev laminace (IR)</b>	(°C)	250	-
<b>Tříválec (1/2/3)</b>	(°C)	75/75/30	
Štěrbina	(mm)	1,1	0,5
		rolna	rolna
Přítlak	(bar)	200	
<b>Rychlost</b>	(m/min)	1,0	1,0

## 11.1.6 Receptura folie FBr 13/V3 (vzorek 7)

Níže v tabulkách je pro kompletnost uvedena obecná receptura pro vzorek č. 7, tedy hydroizolační folii na bázi TPO s názvem FBr 13/V3. Od předchozích typů se opět liší použitou lícovou a rubovou vrstvou, výztužná vrstva – skelné rouno, zůstala stejně jako v předchozích foliích i zda zachována. Podmínky vytlačování na laboratorní lince Dr. Collin jsou také shrnuty níže v tabulce (tabulka 16).

Tabulka 15 – Obecná receptura TPO HIF FBr 13/V3 (vzorek 7)

Vrstva			lícová	rubová
Receptura			FBr 13/V3	FBr 13 spodek 2
Složka	Popis složky		počet dílů	počet dílů
TPO I.	PP typ TPO	75 ShA, ITT 0,6 g/10min	13,00	13,00
TPO II.	PP typ TPO	90 ShA, ITT 14 g/10min	28,00	31,00
Hydroxid hořečnatý	minerální retardér hoření	D <sub>50</sub> 1,25-1,65 mm, povrchově upr. pro PO	40,00	40,00
Retardér hoření Br II.	bromovaný retardér hoření	Tetrabromobisphenol A bis (2,3-dibromopropyl ether)	8,00	8,00
ATO	minerální retardér hoření	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,00	4,00
Antioxidant	Stíněný fenol	Pentaerytritol Tetrakis(3-(3,5-ditercbutyl-4-hydroxyfenyl)propionat)	0,60	0,60
Procesní stab.	Organofosfit	Tris(2,4-ditercbutylfenyl)fosfit	0,40	0,40
UV NOR HALS II.	N-alkoxy HALS s nízkou bazicitou	N-oktyloxy derivát 2,2,6,6-tetrametyl-1-piperidinetanolu	1,00	
MB barevný	světle šedý	TiO <sub>2</sub> rutil + saze / LDPE	5,00	
MB barevný	tmavě šedý	TiO <sub>2</sub> rutil + saze / LDPE		3,00
Celkem			100,00	100,00
Výztuž	skelné rouno		35 g.m <sup>-3</sup>	

Tabulka 16 – Shrnutí procesních podmínek výroby folie FBr 13/V3

Datum výroby (Dr. Collin)		19.6.2008	18.6.2008
Vrstva		lícová	rubová
	jednotky		
<b>Extruder</b>	(°C)	190/200/210/220/220/220	
Šnek	(RPM)	100	90
Zatížení	(A)	4,5	4,3
Tlak taveniny	(bar)	22	22
Evakuace	(bar)	-0,5	
Hlava	(°C)	220/220/220	
	(mm)	0,6	
<b>Předehřev laminace (IR)</b>	(°C)	250	-
<b>Tříválec (1/2/3)</b>	(°C)	75/75/30	
Štěrbina	(mm)	1,1	0,5
		rolna	rolna
Přítlak	(bar)	200	
<b>Rychlost</b>	(m/min)	1,0	1,0

### 11.1.7 Měkčené PVC 1 (rámeček 8)

První vzorek PVC 1 má jako hlavní změkčovadlo použit dioktylfthalát (DOP). PVC folie byla vyrobena vytlačováním, jak je popsáno v předchozích částech. Vzorek folie byl stejně jako předchozí vzorky použit pro expozici v xenotestu, měření změny barevnosti a úbytků hmotnosti a to především jako srovnávací vzorek k TPO foliím. V tabulce níže je uvedena receptura této PVC folie.

Tabulka 17 – Receptura vzorku PVC 1

Vzorek PVC	1.	
	líc (počet dílů)	rub (počet dílů)
S PVC K70	100,00	100,00
Stab. Ba/Zn	-	-
Stab. Ca/Zn	4,30	4,00
Uhlíčitan vápenatý	-	11,00
Dioktylfthalát	55,00	56,00
Epoxidovaný sojový olej	5,50	5,50
Diisodecyl ftalát	-	-
pigmenty (TiO <sub>2</sub> rutil + saze)	14,50	5,00
UV stab. (benztriazol)	1,20	-
<b>CELKEM</b>	<b>180,50</b>	<b>181,50</b>

### 11.1.8 Měkčené PVC 2 (vzorek 4 a 5 ze sady 2)

Druhý vzorek PVC folie, byl zařazen do testovací sady TPO folií ze stejného důvodu jako první vzorek PVC – pro srovnání vlastností a chování při urychleném stárnutí s TPO foliemi. Tento vzorek PVC měl jako změkčovadlo použít diisodecyl ftalát (DIDP). Receptura této PVC folie je uvedena v tabulce níže (tabulka 18).

Tabulka 18 – Receptura vzorku PVC 2

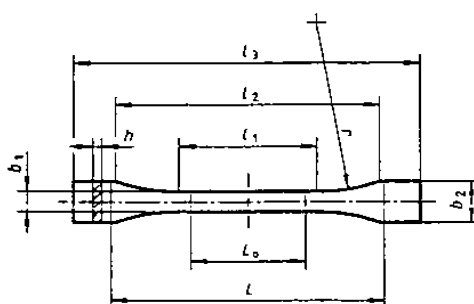
Vzorek PVC	2.	
	líc (počet dílů)	rub (počet dílů)
S PVC K70	100,00	100,00
Stab. Ba/Zn	3,40	3,00
Stab. Ca/Zn	-	-
Uhlíčitan vápenatý	-	11,00
Dioktylfthalát	-	24,00
Epoxidovaný sojový olej	5,50	5,50
Diisodecyl ftalát	64,00	35,50
pigmenty (TiO <sub>2</sub> rutil + saze)	15,50	7,00
UV stab. (benztriazol)	1,20	-
<b>CELKEM</b>	<b>189,60</b>	<b>186,00</b>

## 11.2 Vzorky pro urychlené stárnutí v QUV Testeru

Vzorky pro urychlené stárnutí v QUV Testeru byly stejných receptur jako vzorky pro stárnutí v xenotestu. Pro testování jsem použila vzorky z folií s pořadovým číslem 1, 2, 3, 5, 6 a 7 (podle očíslování uvedeného v tabulce č. 2). V této tabulce jsou uvedeny i receptury, které k těmto číslům vzorků patří. Podrobnější popis jednotlivých receptur testovaných folií je již uveden v části 11.1. Nebudu tedy na tomto místě informace opakovat. Ve vzorcích použitých na urychlené stárnutí v xenotestu a QUV Testeru byl rozdíl pouze v rozměrech. Vzorky testované v QUV Testeru měly rozměry 15 x 7,5 cm.

## 11.3 Vzorky pro tahové zkoušky

Vzorky pro tahovou zkoušku byly připraveny jak z původních neozářených vzorků, tak ze vzorků, které byly v xenotestu ozařovány po dobu 1273 a 600 hodin. Testovány byly také vzorky z QUV Testeru. Tvar a velikost vzorků pro provedení tahových zkoušek se může lišit. Mohou mít tvar destiček, válečků, oboustranných lopatek apod. Obecně ale tyto rozměry a tvary definuje norma ČSN EN ISO 527. Tato norma stanovuje, že pro většinu polymerů se používá zkušebních těles ve tvaru oboustranných lopatek. Pro zkoušení tuhých folií se především používá tzv. mikrotělísek. Mají také tvar oboustranných lopatek, ale jejich rozměry jsou menší, řádově pouze v milimetrech. Tahová zkouška byla provedena na zkušebních tělesech s označením 1BB (viz obr. 9).



Typ zkušebního tělesa	Rozměry v milimetrech	
	1BA	1BB
$l_3$ Celková délka	$\geq 75$	$\geq 30$
$l_1$ Délka zúžené rovnoběžné části	$30 \pm 0,5$	$12 \pm 0,5$
$r$ Poloměr	$\geq 30$	$\geq 12$
$l_2$ Rozpětí mezi širokými rovnoběžnými částmi	$58 \pm 2$	$23 \pm 2$
$b_2$ Šířka konců	$10 \pm 0,5$	$4 \pm 0,2$
$b_1$ Šířka zúžené části	$5 \pm 0,5$	$2 \pm 0,2$
$h$ Tloušťka	$\geq 2$	$\geq 2$
$L_0$ Počáteční měřená délka	$25 \pm 0,5$	$10 \pm 0,2$
$L$ Počáteční vzdálenost čelistí	$l_2 \pm 0,5$	$l_2 \pm 0,5$

Obrázek 9 – Rozměry a tvar mikrotělísek

## 12 POUŽITÉ PŘÍSTROJE

### 12.1 QUV Tester

QUV Tester je přístroj pro urychlené atmosférické stárnutí, který umožňuje v laboratoři simulovat povětrnostní vlivy. Používá se k zjištění relativní trvanlivosti materiálů, které budou vystaveny vnějším podmínkám. V přístroji je rozprašovačem simulována rosa a déšť. Škodlivé účinky slunečního záření jsou simulovány fluorescenčními UV výbojkami. Teplota je řízena automaticky, stejně jako sled a střídání denní doby. Mezi sledovaná poškození patří blednutí a jiné změny barvy, tvorba prasklin, puchýřů, křehnutí, ztráta pevnosti a křehnutí.

Pro tento experiment byl použit QUV Tester od firmy Q Panel Lab Products, USA (obrázek 10). Simulace světelného záření byla prováděna výbojkami UV-B 313 EL. Expozice byla řízena přednastaveným režimem stroje, který střídá 4 hodiny UV záření při 60°C a 4 hodiny kondenzaci při 50°C.



Obrázek 10 – QUV Tester

## 12.2 Xenotest

Xenotest je přístroj, který pomocí xenonové výbojky simuluje povětrnostní stárnutí materiálů vlivem slunečního záření. Důsledkem uzavřené konstrukce přístroje a přeměny světelné energie na tepelnou jsou testované materiály vystaveny také zvýšené teplotě. Na nových přístrojích lze stejně jako na QUV Testeru také simulovat vliv vlhkosti, deště v kombinaci se zvýšenou teplotou a zářením.



Obrázek 11 – Xenotest Hanau

Na použitém typu xenotestu Hanau E 540-3290, vyr. číslo 50911/671K (obrázek 11), který je staršího data výroby nelze simulovat střídání denních dob ani vliv vlhkosti na zkoušené vzorky. V tomto přístroji byla umístěna výbojka Xe 1500, jejíž světlo simuluje oblast ultrafialového a viditelného záření. Rozsah vlnových délek pro tuto lampu je pro viditelné světlo 400-700 nm a pro UV záření 300–400 nm. Toto složení záření věrně simuluje složení slunečního záření a lze proto říci, že 24 hodin ozařování vzorku v xenotestu s touto výbojkou lze přirovnat k deseti dnům expozice vzorků na vzduchu a přímém slunečním záření. Při měření v xenotestu byla uvnitř zaznamenána teplota přibližně 100°C.

### 12.3 Přístroj pro měření barevnosti – Hunter Lab Ultra Scan D65

Dostupný přístroj Hunter Lab Ultra Scan D65 používá barevný prostor CIE L\*a\*b\* z roku 1976, který je převodem souřadnic XYZ z roku 1931. Pro praktické využití hodnocení barev je nutné znát a pokud možno co nejjednodušším způsobem umět popsat rozdíl barev dvou vzorků. Toto není možné vyjádřit v souřadnicích XYZ, došlo proto k transformaci do systému L\*a\*b\*. Systém těchto souřadnic tvoří pravoúhlý barevný prostor, viz obrázek č. 7. Na obrázku (obrázek č. 7) je osa L\* osou černo – bílou, tedy osou jasu. Osa a\* je osou červeno – zelenou a osa b\* je osou žluto – modrá. Jak již bylo zmíněno, pro praxi je důležité vyjádření barevné odchylky. V prostoru L\*a\*b\* se používá odchylka  $\Delta E$ , vyjádřena vztahem:

$$\Delta E = \sqrt{[(L^*_{\text{standard}} - L^*_{\text{vzorek}})^2 + (a^*_{\text{standard}} - a^*_{\text{vzorek}})^2 + (b^*_{\text{standard}} - b^*_{\text{vzorek}})^2]} \quad (2)$$

Tato odchylka definuje nejkratší vzdálenost mezi polohou standartu v systému a polohou vzorku. Na obrázku 12 je znázorněn přístroj Hunter Lab, který byl použit pro tato měření.



Obrázek 12 – Laboratorní spektrofotometr Hunter Lab pro měření barevnosti

## 12.4 Příklad pro tahové zkoušky – Instron 4301

Instron 4301 je univerzální trhací stroj, který umožňuje zkoušení mechanických vlastností různých typů materiálů za různých podmínek. Jedná se o klasický trhací stroj, který umožňuje zkoušení s různými měřicími hlavami za konstantní rychlosti posuvu čelistí. Stroj je připojen na počítač, který současně s průběhem testu přepočítává ze zadaných rozměrů těles hodnoty síla – protažení do hodnot napětí – deformace. Testování našich vzorků bylo provedeno s měřicí hlavou 100 N za konstantní rychlosti posuvu čelistí 50 mm/min na mikrotělískách 1BB. Pro názornost je tento přístroj zachycen na obrázku níže (obrázek 13).



Obrázek 13 – Příklad pro tahovou zkoušku – Instron 4301



### **III. VÝSLEDKY A DISKUZE**

### 13 VYHODNOCENÍ ZMĚNY BAREVNOSTI

Změna barevnosti se vyhodnocuje především kvůli hodnocení žloutnutí folií po expozici slunečním zářením. V našem případě jsem tedy zjišťovala jak moc testované TPO folie ve srovnání s PVC žloutne po expozici v xenotestu a QUV testeru. Změna barevnosti se také používá k hodnocení vhodnosti použitých UV stabilizátorů.

#### 13.1 Vyhodnocení sady 1

Sada 1 se skládala z deseti vzorků, obecné receptury a vlastnosti použitých TPO folií a srovnávacího PVC jsou uvedeny v předchozí části (kapitola 11). Všechny vzorky byly upevněny do kovových rámečků a byly umístěny do xenotestu, kde byly exponovány xenonovou výbojkou a ve stanovených intervalech byly z xenotestu vyjímány a na přístroji Hunter Lab Ultra Scan bylo provedeno měření změny barevnosti podle normy ČSN 01 1718/ČSN EN 20 105-AO 2. Provedení experimentu je popsáno v části 10.2. Přístroj Hunter Lab měří změnu barevnosti v souřadnicích  $L^*a^*b^*$ . V tabulkách níže jsou uvedeny hodnoty  $L^*a^*b^*$  pro jednotlivé vzorky v časových intervalech měření. Každé jednotlivé měření v každém časovém intervalu bylo provedeno třikrát a uvedené hodnoty jsou aritmetickým průměrem z těchto tří měření ve třech různých místech vzorku. Průběh změny barevnosti  $dE^*$  v závislosti na čase poté zobrazuje souhrnný graf (graf 1). Na obrázku 14 a 15 je zobrazen vzhled vzorků po expozici v xenotestu po 1272 a 144 hodinách.

Tabulka 19 – Souhrn hodnot  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  vzorku 1 v časových intervalech

vzorek č. 1 (rámeček 1)						
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	YI E313 [D65/10]	$dE^*$	dYI E313 [D65/10]
standart	66,84	-0,62	-0,19	-1,15	-	-
po 24 h	66,59	-0,63	0,72	1,17	<b>0,94</b>	2,32
po 48 h	66,28	-0,66	0,9	1,61	<b>1,22</b>	2,76
po 72 h	65,88	-0,59	1,01	1,98	<b>1,53</b>	3,13
po 96 h	65,79	-0,61	0,98	1,9	<b>1,58</b>	3,05
po 120 h	65,91	-0,57	1,09	2,21	<b>1,58</b>	3,36
po 144 h	65,27	-0,85	1,26	2,37	<b>2,15</b>	3,52
po 312 h	65,35	-0,55	0,85	1,62	<b>1,82</b>	2,77
po 480 h	65,55	-0,6	0,58	0,86	<b>1,5</b>	2,01
po 648 h	65,63	-0,64	0,27	0,01	<b>1,29</b>	1,15
po 816 h	66,08	-0,69	-0,19	-1,24	<b>0,77</b>	-0,09
po 984 h	67,2	-0,67	-0,48	-1,95	<b>0,47</b>	-0,8
po 1104 h	65,79	-0,51	0,35	0,35	<b>1,19</b>	1,5
po 1272 h	66,8	-0,58	-0,56	-2,09	<b>0,38</b>	-0,95

Tabulka 20 - Souhrn hodnot  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  vzorku 2 v časových intervalech

vzorek č. 2 (rámeček 2)						
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	YI E313 [D65/10]	$dE^*$	dYI E313 [D65/10]
standart	71,82	-0,49	-1,28	-3,64	-	-
po 24 h	70,76	-0,56	0,35	0,28	<b>1,94</b>	3,93
po 48 h	70,07	-0,84	2,25	4,67	<b>3,95</b>	8,31
po 72 h	69,64	-0,78	2,63	5,66	<b>4,48</b>	9,31
po 96 h	69,41	-0,76	2,6	5,64	<b>4,58</b>	9,29
po 120 h	69,56	-0,74	2,82	6,17	<b>4,68</b>	9,82
po 144 h	69,14	-1,13	3,12	6,55	<b>5,19</b>	10,2
po 312 h	69,31	-0,74	2,11	4,47	<b>4,22</b>	8,11
po 480 h	69,46	-0,91	2,57	5,41	<b>4,54</b>	9,05
po 648 h	69,85	-0,95	1,97	3,91	<b>3,83</b>	7,55
po 816 h	70,72	-0,87	2,19	4,46	<b>3,66</b>	8,1
po 984 h	70,3	-0,98	1,53	2,77	<b>3,23</b>	6,42
po 1104 h	70,11	-0,88	1,76	3,45	<b>3,51</b>	7,09
po 1272 h	70,25	-0,85	0,88	1,31	<b>2,69</b>	4,96

Tabulka 21 - Souhrn hodnot  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  vzorku 3 v časových intervalech

vzorek č. 3 (rámeček 3)						
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	YI E313 [D65/10]	$dE^*$	dYI E313 [D65/10]
standart	67,16	-0,59	-0,16	-1,03	-	-
po 24 h	66,53	-0,65	0,77	1,3	<b>1,13</b>	2,33
po 48 h	66,31	-0,71	0,95	1,7	<b>1,4</b>	2,74
po 72 h	65,91	-0,62	1,09	2,16	<b>1,76</b>	3,19
po 96 h	65,74	-0,6	0,89	1,66	<b>1,76</b>	2,69
po 120 h	65,84	-0,55	0,93	1,83	<b>1,71</b>	2,86
po 144 h	65,43	-1,19	1,29	2,09	<b>2,34</b>	3,13
po 312 h	65,29	-0,58	0,96	1,88	<b>2,18</b>	2,91
po 480 h	65,75	-0,62	0,53	0,73	<b>1,57</b>	1,76
po 648 h	65,66	-0,66	0,53	0,68	<b>1,65</b>	1,71
po 816 h	67,61	-0,56	0,12	-0,28	<b>0,53</b>	0,75
po 984 h	65,34	-0,6	0,15	-0,27	<b>1,84</b>	0,76
po 1104 h	65,26	-0,56	0,2	-0,08	<b>1,94</b>	0,96
po 1272 h	65,77	-0,45	0,05	-0,36	<b>1,42</b>	0,68

Tabulka 22 - Souhrn hodnot  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  vzorku 1 (rámeček 4) v časových intervalech

vzorek č. 1 (rámeček 4)						
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	YI E313 [D65/10]	$dE^*$	dYI E313 [D65/10]
standart	66,84	-0,62	-0,19	-1,15	-	-
po 24 h	66,51	-0,59	0,77	1,35	<b>1,01</b>	2,5
po 48 h	66,34	-0,61	0,77	1,33	<b>1,08</b>	2,48
po 72 h	66,07	-0,53	0,92	1,8	<b>1,35</b>	2,95
po 96 h	65,83	-0,6	1,1	2,22	<b>1,64</b>	3,36
po 120 h	66,01	-0,56	1,22	2,56	<b>1,64</b>	3,71
po 144 h	64,93	-0,89	1,39	2,68	<b>2,49</b>	3,83

Tabulka 23 - Souhrn hodnot  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  vzorku 5 v časových intervalech

vzorek č. 5 (rámeček 5)						
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	YI E313 [D65/10]	$dE^*$	dYI E313 [D65/10]
standart	68,51	-0,77	-1,37	-4,31	-	-
po 24 h	65,82	-0,95	0,59	0,53	<b>3,33</b>	4,85
po 48 h	65,53	-1,23	2,63	5,48	<b>5,01</b>	9,8
po 72 h	65,06	-1,25	3,15	6,82	<b>5,7</b>	11,14
po 96 h	64,48	-1,4	4,44	9,96	<b>7,09</b>	14,27
po 120 h	65,3	-1,25	3,46	7,58	<b>5,82</b>	11,9
po 144 h	65,69	-1,82	6,82	15,15	<b>8,72</b>	19,46

Tabulka 24 - Souhrn hodnot  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  vzorku 6 v časových intervalech

vzorek č. 6 (rámeček 6)						
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	YI E313 [D65/10]	$dE^*$	dYI E313 [D65/10]
standart	67,03	-0,73	-1,02	-3,43	-	-
po 24 h	64,42	-1,1	4,72	11	<b>6,32</b>	14,42
po 48 h	64,59	-1,95	7,15	16,01	<b>8,62</b>	19,43
po 72 h	64,07	-1,95	8,81	20,06	<b>10,34</b>	23,48
po 96 h	63,76	-1,92	9,71	22,26	<b>11,28</b>	25,69
po 120 h	63,5	-1,87	10,82	24,95	<b>12,41</b>	28,37
po 144 h	62,85	-2,2	11,85	27,14	<b>13,61</b>	30,57

Tabulka 25 - Souhrn hodnot  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  vzorku 7 v časových intervalech

vzorek č. 7 (rámeček 7)						
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	YI E313 [D65/10]	$dE^*$	dYI E313 [D65/10]
standart	68,87	-0,79	-1,25	-4,01	-	-
po 24 h	65,89	-0,95	0,6	0,56	<b>3,52</b>	4,57
po 48 h	65,78	-1,08	1,17	1,9	<b>3,94</b>	5,91
po 72 h	65,61	-1,06	1,34	2,36	<b>4,17</b>	6,37
po 96 h	65,62	-1,17	1,87	3,6	<b>4,52</b>	7,61
po 120 h	65,75	-1,21	2,5	5,17	<b>4,9</b>	9,18
po 144 h	65,26	-1,69	2,99	5,95	<b>5,64</b>	9,95

Tabulka 26 - Souhrn hodnot  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  vzorku 8 (PVC) v časových intervalech

vzorek č. 8 - PVC (rámeček 8)						
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	YI E313 [D65/10]	$dE^*$	dYI E313 [D65/10]
standart	68,01	-1,16	-2,66	-8,12	-	-
po 24 h	67,21	-1,09	-2,74	-8,36	<b>0,8</b>	-0,24
po 48 h	66,85	-1,12	-2,78	-8,52	<b>1,17</b>	-0,41
po 72 h	66,41	-1,16	-1,78	-5,93	<b>1,82</b>	2,19
po 96 h	65,69	-1,24	-1,15	-4,37	<b>2,77</b>	3,75
po 120 h	64,74	-1,14	1,75	3,36	<b>5,49</b>	11,48

Tabulka 27 - Souhrn hodnot  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  vzorku 5 (rámeček 9) v časových intervalech

vzorek č. 5 (rámeček 9)						
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	YI E313 [D65/10]	$dE^*$	dYI E313 [D65/10]
standart	68,51	-0,77	-1,37	-4,31	-	-
po 24 h	65,79	-1,02	1,05	1,65	<b>3,64</b>	5,96
po 48 h	65,77	-1,17	1,86	3,58	<b>4,25</b>	7,9
po 72 h	65,46	-1,2	2,38	4,88	<b>4,85</b>	9,19
po 96 h	64,92	-1,35	3,38	7,31	<b>5,98</b>	11,63
po 120 h	65,39	-1,26	2,64	5,5	<b>5,1</b>	9,81
po 144 h	65,11	-1,73	3,37	6,85	<b>5,9</b>	11,16

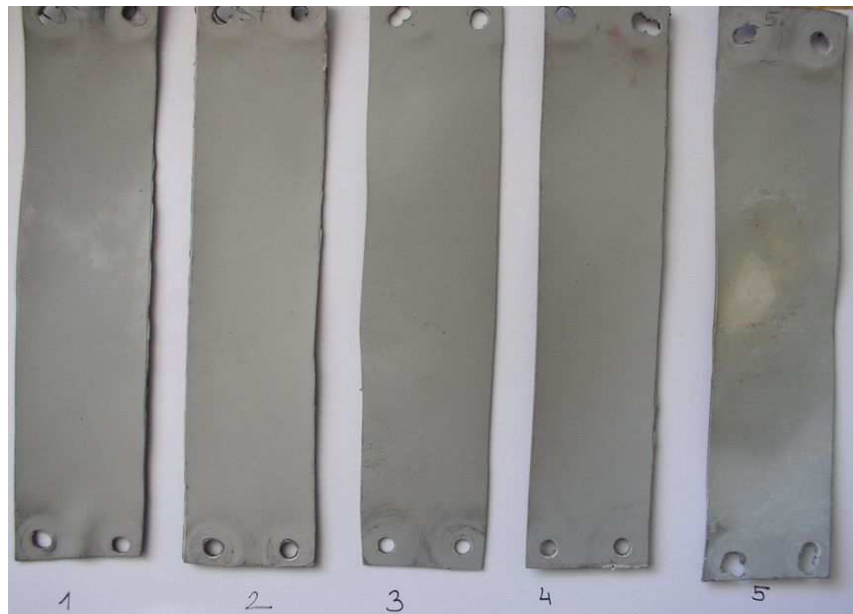
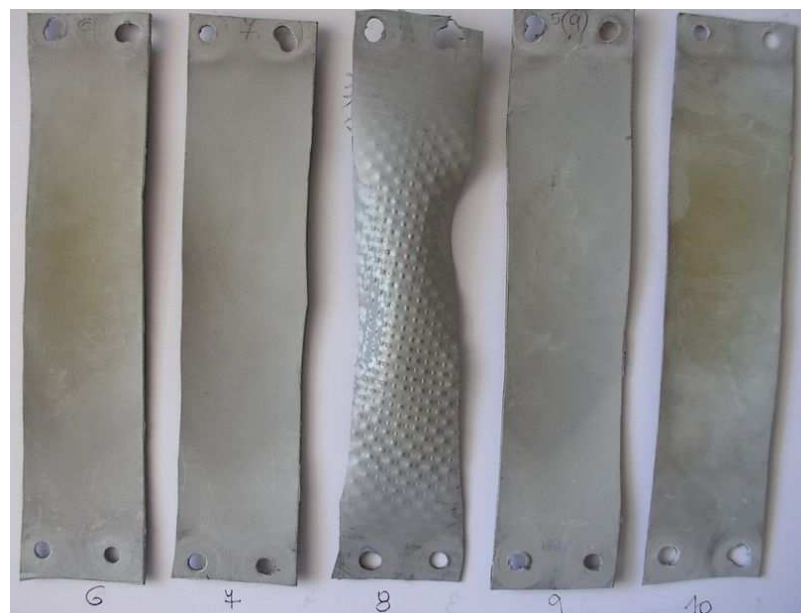
Tabulka 28 - Souhrn hodnot  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  vzorku 6 (rámeček 10) v časových intervalech

vzorek č. 6 (rámeček 10)						
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	YI E313 [D65/10]	$dE^*$	dYI E313 [D65/10]
standart	67,03	-0,73	-1,02	-3,43	-	-
po 24 h	64,71	-1,47	5,19	11,72	<b>6,67</b>	15,15
po 48 h	64,07	-1,98	9	20,47	<b>10,53</b>	23,89
po 72 h	64,13	-1,91	7,91	17,95	<b>9,46</b>	21,38
po 96 h	63,51	-1,94	10,77	24,74	<b>12,36</b>	28,16
po 120 h	63,29	-1,83	12,09	27,93	<b>13,68</b>	31,36
po 144 h	62,86	-1,94	12,86	29,68	<b>14,54</b>	33,11

Tabulka 29 – Shrnutí změny  $dE^*$  barevnosti vzorků sady 1

vzorek (rámeček)	$dE^*$												
	24	48	72	96	120	144	312	480	648	816	984	1104	1272
1 (1)	0,94	1,22	1,53	1,58	1,58	2,15	1,82	1,5	1,29	0,77	0,47	1,19	0,38
2 (2)	1,94	3,95	4,48	4,58	4,68	5,19	4,22	4,54	3,83	3,66	3,23	3,51	2,69
3 (3)	1,13	1,4	1,76	1,76	1,71	2,34	2,18	1,57	1,65	0,53	1,84	1,94	1,42
1 (4)	1,01	1,08	1,35	1,64	1,64	2,49	/						
5 (5)	3,33	5,01	5,7	7,09	5,82	8,72							
6 (6)	6,32	8,62	10,34	11,28	12,41	13,61							
7 (7)	3,52	3,94	4,17	4,52	4,9	5,64							
8,PVC (8)	0,8	1,17	1,82	2,77	5,49	-							
5 (9)	3,64	4,25	4,85	5,98	5,1	5,9							
6 (10)	6,67	10,53	9,46	12,36	13,68	14,54							

Obrázek 14 – Vzhled vzorků 1-5 sady 1 po expozici v xenotestu

Obrázek 15 - Vzhled vzorků 6-10 sady 1 po expozici  
v xenotestu

Na obou obrázcích mapujících vzhled vzorků sady 1 po expozici v xenotestu je jasně patrné, že s výjimkou vzorku PVC a vzorků 5, 6 a 10 jsou změny barevnosti do žluté barvy pouhým okem nepozorovatelné.



Podle definice barevného prostoru  $L^*a^*b^*$ , který je znázorněn na obrázku 7 a podle hodnot  $b^*$  v tabulkách výše je zřejmé, že všechny vzorky TPO folií pomalu, pouze vzorek TPO folie číslo 6 vykazuje velké žloutnutí. Některé vzorky TPO folií v některých časových intervalech také vykazují záporné hodnoty  $b^*$ , což znamená, že přístroj zaznamenal posun do modré barvy. To může být způsobeno rozdílným místem měření změny barevnosti na daném vzorku. Nejlepší stálost a odolnost UV záření vykazoval vzorek 1. Velká změna barevnosti nenastala ani u vzorků 2 a 3 u kterých jsou změny hodnoty  $b^*$  velmi malé a proto dokonce pozorujeme zmenšení  $dE^*$  s časem, u ostatních vzorků rozdíl barevnosti  $dE^*$  měl spíše kolísavý trend, jak je patrné i z grafu. Tyto výkyvy v naměřených hodnotách mohou být způsobeny měřením v jiné části vzorku, jak již bylo jednou zmíněno.

### 13.2 Vyhodnocení sady 2

Sada 2 se skládala již pouze z pěti vzorků, z toho byly tři kusy TPO folií a dva kusy PVC ovšem s jiným změkčovadlem než bylo testováno v sadě 1. Vzorky byly exponovány v xenotestu xenonovou výbojkou za stejných podmínek jako vzorky sady 1. Stejně byly i intervaly pro sledování změny barevnosti, tedy nejprve 24 h a poté 48 a 168 hodin. Z nedostatku času nebyla expozice vzorků sady 2 tak dlouhá jako doba expozice sady 1, ale trvala u TPO folií pouze 600 hodin. Vzorky PVC skončily dříve z důvodu rychlého odpaření změkčovadel a přílišného ztvrdnutí vzorku, které znemožnilo správné upevnění pod přítlačné zařízení přístroje Hunter Lab a proto nebylo možné správně změřit změnu barevnosti. V tabulkách níže (tabulky 30-34) jsou uvedeny hodnoty  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  pro jednotlivé vzorky sady 2. V tabulce 35 jsou poté shrnuty hodnoty  $dE^*$  a doba expozice. Průběh změny  $dE^*$  v závislosti na době expozice zobrazuje graf 2. Na obrázku 16 je poté zachycen vzhled exponovaných vzorků po 600 a 120 hodinách v xenotestu.

Tabulka 30 – Souhrn hodnot  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  vzorku 1 sady 2 v časových intervalech

vzorek č. 1 (rámeček 4)						
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	YI E313 [D65/10]	$dE^*$	dYI E313 [D65/10]
standart	66,84	-0,62	-0,19	-1,15	-	-
po 24 h	66,89	-0,61	0,38	0,32	<b>0,56</b>	1,47
po 72 h	66,5	-0,62	1,09	2,15	<b>1,32</b>	3,3
po 96 h	67,31	-0,56	0,94	1,82	<b>1,22</b>	2,96
po 120 h	66,57	-0,69	0,81	1,36	<b>1,04</b>	2,51
po 144 h	66,43	-0,7	0,85	1,46	<b>1,12</b>	2,6
po 264 h	65,77	-0,55	1,2	2,53	<b>1,76</b>	3,67
po 432 h	66,28	-0,61	0,51	0,68	<b>0,9</b>	1,82
po 600 h	66,07	-0,58	0,39	0,39	<b>0,96</b>	1,53



Tabulka 31 - Souhrn hodnot  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  vzorku 2 sady 2 v časových intervalech

vzorek č. 2 (rámeček 5)						
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	YI E313 [D65/10]	$dE^*$	dYI E313 [D65/10]
standart	71,82	-0,49	-1,28	-3,64	-	-
po 24 h	70,67	-0,47	0,44	0,6	<b>2,07</b>	4,24
po 72 h	69,9	-0,76	2,23	4,71	<b>4,01</b>	8,36
po 96 h	70,45	-0,7	2,4	5,14	<b>3,93</b>	8,79
po 120 h	69,76	-0,89	2,62	5,53	<b>4,42</b>	9,17
po 144 h	69,62	-0,9	2,52	5,3	<b>4,41</b>	8,95
po 264 h	69,11	-0,82	3,13	6,88	<b>5,18</b>	10,52
po 432 h	69,6	-0,81	1,75	3,5	<b>3,76</b>	7,14
po 600 h	69,61	-0,79	1,48	2,85	<b>3,54</b>	6,5

Tabulka 32 - Hodnoty  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  vzorku 3 sady 2 v časových intervalech

vzorek č. 3 (rámeček 6)						
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	YI E313 [D65/10]	$dE^*$	dYI E313 [D65/10]
standart	67,16	-0,59	-0,16	-1,03	-	-
po 24 h	66,7	-0,67	0,15	-0,32	<b>0,56</b>	0,71
po 72 h	66,33	-0,57	0,45	0,54	<b>1,02</b>	1,57
po 96 h	67,08	-0,62	0,93	1,72	<b>1,09</b>	2,75
po 120 h	66,29	-0,74	0,88	1,5	<b>1,36</b>	2,53
po 144 h	66,12	-0,72	0,87	1,5	<b>1,47</b>	2,53
po 264 h	65,57	-0,57	1,22	2,55	<b>2,11</b>	3,58
po 432 h	65,83	-0,62	0,53	0,72	<b>1,5</b>	1,75
po 600 h	65,69	-0,6	0,42	0,45	<b>1,59</b>	1,49

Tabulka 33 - Hodnoty  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  vzorku 4 (PVC 2) sady 2 v čase

vzorek PVC 2 (rámeček 7)						
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	YI E313 [D65/10]	$dE^*$	dYI E313 [D65/10]
standart	67,69	-1,21	-2,59	-8,02	-	-
po 24 h	67,36	-1,18	-2,32	-7,32	<b>0,42</b>	0,71
po 72 h	66,59	-1,12	-1,97	-6,38	<b>1,26</b>	1,64
po 96 h	67,15	-1,17	-1,61	-5,44	<b>1,11</b>	2,58

Tabulka 34 - Hodnoty  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  vzorku 5 (PVC 2<sub>2</sub>) sady 2 v čase

vzorek PVC 2 <sub>2</sub> (rámeček 8)						
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	YI E313 [D65/10]	$dE^*$	dYI E313 [D65/10]
standart	67,69	-1,21	-2,59	-8,02	-	-
po 24 h	67,26	-1,17	-2,39	-7,5	<b>0,47</b>	0,52
po 72 h	66,46	-1,29	-1,17	-4,44	<b>1,88</b>	3,58
po 96 h	67,17	-1,28	-1,11	-4,22	<b>1,57</b>	3,8

Tabulka 35 - Shrnutí změny  $dE^*$  barevnosti vzorků sady 2

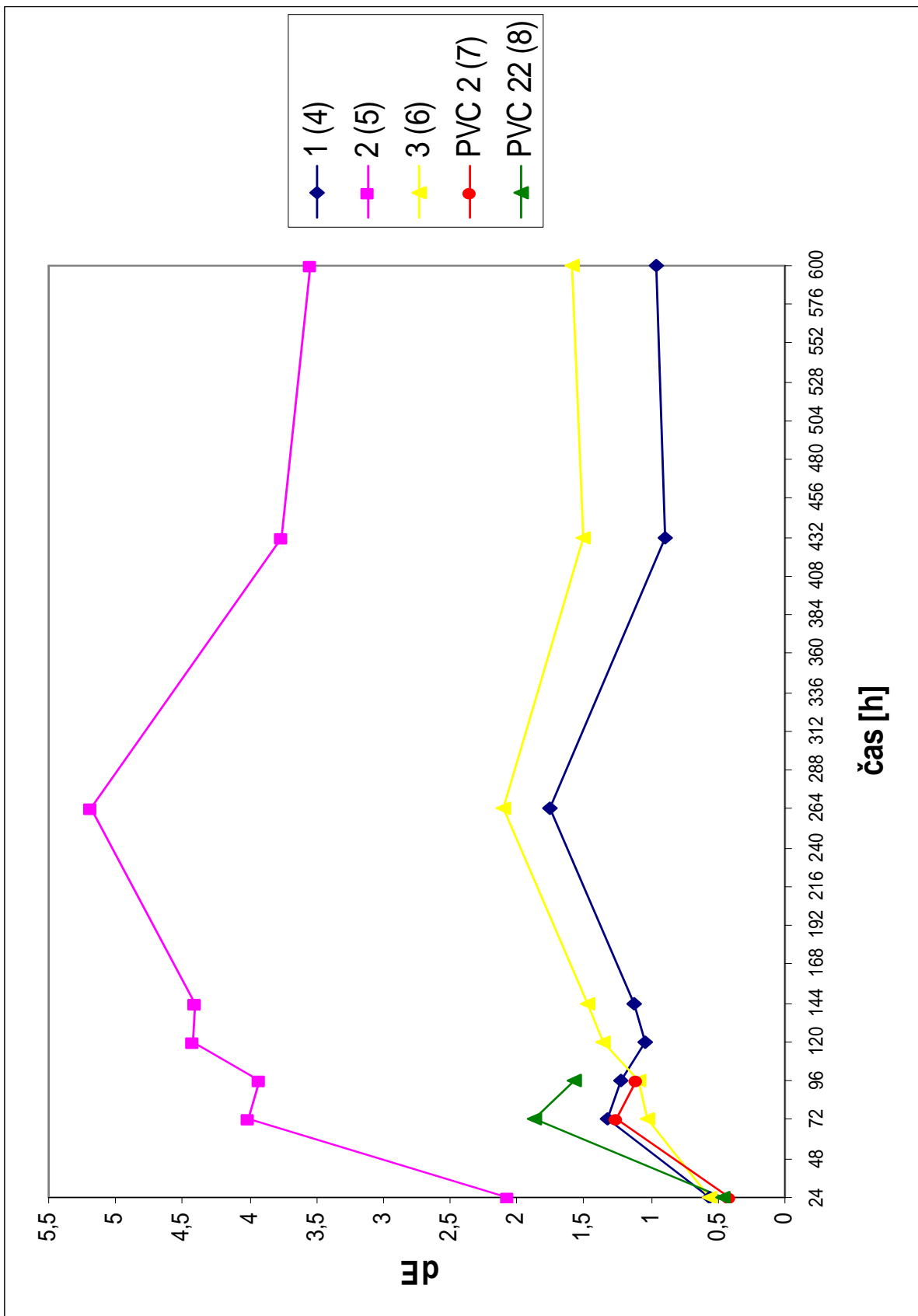
vzorek (rámeček)	$dE^*$							
	24	72	96	120	144	264	432	600
1 (4)	0,56	1,32	1,22	1,04	1,12	1,76	0,9	0,96
2 (5)	2,07	4,01	3,93	4,42	4,41	5,18	3,76	3,54
3 (6)	0,56	1,02	1,09	1,36	1,47	2,11	1,5	1,59
PVC 2 (7)	0,42	1,26	1,11					
PVC 2 <sub>2</sub> (8)	0,47	1,88	1,57					

Obrázek 16 – Vzhled vzorků sady 2 po expozici v xenotestu



Z tabulek výše je zřejmé, že srovnávací vzorky ve druhé sadě vykazovaly odlišné hodnoty  $b^*$  a  $dE^*$  vzhledem k týmž vzorkům v sadě 1. Hodnoty  $b^*$  u všech vzorků velmi kolísají a tím kolísá i celková  $dE^*$ .

Graf 2 - Závislost změny barevnosti na čase pro sadu 2



Nejlepší stálost na světle po expozici v xenotestu opět vykazoval vzorek č. 1. Vzorky 2 a 3, ale také nemají nijak drasticky vysokou změnu barevnosti. Při srovnání hodnot  $dE^*$  PVC vzorku ze sady 1 a sady 2 zjistíme, že vzorky PVC v sadě 2 vykazují značně menší hodnoty. To může být způsobeno použitým změkčovadlem. Změkčovadlo použité v PVC ze sady 2 je pravděpodobně lepší pro dané podmínky testování. Z grafu 2 je poté jednoznačně patrný nejprve rapidní vzrůst hodnot  $dE^*$  v závislosti na době expozice u všech vzorků a poté kolísavý charakter. To může být způsobeno měřením v jiné části vzorku.

### 13.3 Vyhodnocení vzorků z QUV Testeru

Pro srovnání měření a odolnosti vzorků expozici v xenotestu byla nasazena srovnávací sada TPO a PVC folií do QUV testeru. Tato sada se skládala z vzorků folií s pořadovými čísly 1, 2, 3, 5, 6, 7 a PVC 1 a 2. Vzorky byly také umístěny v kovových rámečcích a vystaveny světelnému záření simulujícímu sluneční záření. Podrobnější popis přístroje QUV tester, použitých výbojek a režimu sprchování je uveden v kapitole 12.1. Rozměry vzorků pro upevnění do rámečků jsou blíže popsány v kapitole 11.2. V tabulkách níže jsou poté shrnuty hodnoty  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  z jednotlivých časových intervalů. Souhrnný graf (graf 3) znázorňuje průběh změny barevnosti u všech šesti vzorků testovaných TPO folií. Vzorky číslo 1 a 2 byly exponovány do 5005 hodin, zatímco ostatní vzorky byly exponovány déle – do 6000 hodin.

Tabulka 36 – Hodnoty  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  vz. 1 z QUV testeru

vzorek 1					
čas [h]	$L^*$	$a^*$	$b^*$	YI	$dE^*$
0	70,78	-0,03	-1,34	49,65	-
50	67,16	-0,85	1,32	28,83	4,56
119	67,11	-0,98	2,56	21,18	5,44
286	65,49	-0,81	2,16	21,29	6,39
505	65,35	-0,7	1,52	27,05	6,17
1004	66,25	-0,65	0,78	30,82	5,04
2000	65,04	-0,44	0,04	33,85	5,91
3000	65,66	-0,5	-0,09	35,42	5,29
4000	66,11	-0,51	-0,19	36,62	4,83
5005	67,24	-0,32	0,06	36,59	3,82

Tabulka 37 – Výsledky měření barevnosti z QUV Testeru  
pro vzorek 2

vzorek 2					
čas [h]	L*	a*	b*	YI	dE*
0	75,91	0,17	-2,69	64,44	-
50	71,85	-1,05	2,21	30,7	6,48
119	71,79	-1,15	3,26	24,58	7,35
286	69,87	-1,07	3,42	20,41	8,68
505	69,57	-0,92	2,59	24,81	8,32
1004	70,33	-0,84	1,23	34	6,89
2000	69,23	-0,29	0,29	37,94	7,33
3000	69,6	-0,6	0	40,15	6,9
4000	70,58	-0,62	-0,3	43,3	5,89
5005	71,54	-0,47	-0,3	44,68	5,02

Tabulka 38- Výsledky měření barevnosti – vzorek 3  
z QUV testeru

vzorek 3					
čas [h]	L*	a*	b*	YI	dE*
0	67,16	-0,65	-0,16	37,64	
72	66,72	-0,87	1,43	27,51	1,64
119	66,5	-0,9	1,9	24,31	2,15
262	68,52	-0,9	2,19	25,56	2,77
501	68,43	-0,75	1,36	30,39	2,05
1005	68,69	-0,63	0,83	33,94	1,9
2010	67,84	-0,55	0,41	35,26	0,97
3015	65,16	-0,29	0,52	31,02	2,05
4106	67,51	-0,41	0,15	36,38	0,6
5000	67,21	-0,38	0,26	35,35	0,51
6000	67,46	-0,3	0,2	36,02	0,64

Tabulka 39 – Měření barevnosti vzorku 5 z QUV testeru

vzorek 5					
čas [h]	L*	a*	b*	YI	dE*
0	67,4	-0,62	-0,32	39,07	-
72	66,87	-1,02	2,05	23,94	2,46
119	66,45	-1,11	3,04	17,25	3,52
262	68,36	-1,5	6,15	1,54	6,6
501	67,29	-1,56	6,7	-3,77	7,09
1005	66,81	-1,26	5,31	3,94	5,69
2010	65,25	-1	4,91	3,77	5,67
3015	64,06	-0,74	4,35	5,43	5,74
4106	65,39	-0,77	3,35	13,72	4,19
5000	64,74	-0,63	2,89	15,65	4,17
6000	64,72	-0,49	2,7	16,83	4,04

Tabulka 40 – Měření barevnosti vzorku 6 z QUV testeru

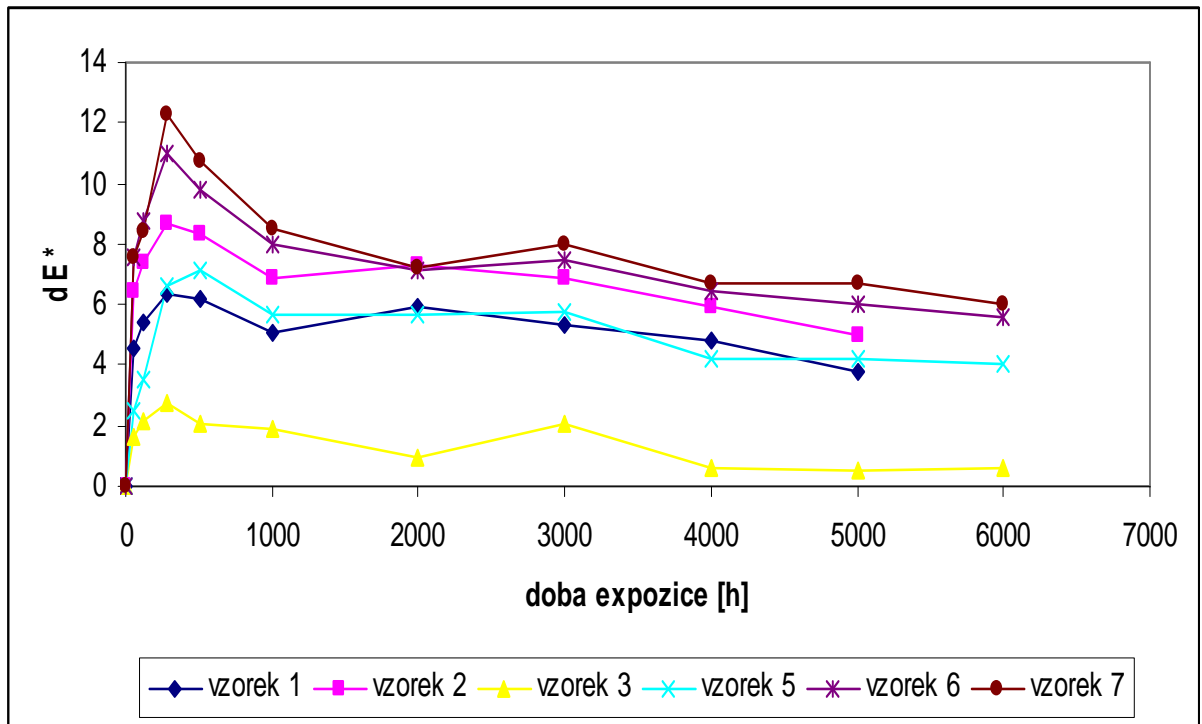
vzorek 6					
čas [h]	L*	a*	b*	YI	dE*
0	66,62	-0,72	-0,8	40,99	-
72	64,81	-1,89	6,49	-6,92	7,6
119	64,11	-1,89	7,56	-14,91	8,8
262	65,11	-1,79	10,05	-28,58	11
501	64,64	-1,45	8,72	-21,17	9,75
1005	64,1	-1,15	6,76	-9,79	7,98
2010	63,72	-0,91	5,69	-3,66	7,12
3015	62,13	-0,65	5,17	-2,88	7,47
4106	63,12	-0,79	4,63	2,18	6,46
5000	63,09	-0,83	4,05	5,85	5,99
6000	63,25	-0,71	3,66	8,59	5,59

Tabulka 41 – Měření barevnosti vzorku 7 z QUV testeru

vzorek 7					
čas [h]	L*	a*	b*	YI	dE*
0	67,17	-0,71	-1,27	44,5	-
72	65,4	-1,73	6,03	-3,04	7,58
119	64,97	-1,72	6,78	-8,44	8,4
262	65,18	-1,75	10,85	-33,4	12,32
501	64,64	-1,47	9,13	-23,74	10,73
1005	64,34	-1,18	6,72	-9,09	8,48
2010	64,11	-1,01	5,24	-0,13	7,2
3015	62,25	-0,44	5,02	-1,67	7,99
4106	62,9	-0,74	3,94	6,21	6,74
5000	63,07	-0,84	4	6,1	6,67
6000	63,87	-0,74	3,81	8,57	6,05

Z výše uvedených tabulek, které shrnují hodnoty  $L^*a^*b^*$  a  $dE^*$  pro všechny testované vzorky v různých časových intervalech měření je zřejmé, že všechny vzorky vykazují v barevném prostoru  $L^*a^*b^*$  posun na zeleno žluté ose. Přičemž posun na ose  $b^*$  je větší než na ose  $a^*$ . Znamená to, že vzorky podle naměřených dat žloutly i mírně zelenaly, ale především žloutly. Z posunu na těchto dvou osách barevného prostoru poté vyplývá i celková změna  $dE^*$ . Ta byla, na rozdíl od sady 1 a 2 testovaných v xenotestu, nejmenší pro vzorek číslo 3. Zvláštností je, že vzorek číslo 2 v tomto pokusu vykazoval horší hodnoty  $dE^*$  než vzorek číslo 5 (při testování v xenotestu tomu bylo opačně). To může být způsobeno rozdílným světelným spektrem v QUV Testeru. Vzorky číslo 6 a 7 se chovaly podobně jako při testování v xenotestu.

Graf 3 – Průběh změny barevnosti v závislosti na době expozice vzorků z QUV testeru



Z grafu zobrazujícího závislost  $dE^*$  na čase je poté jasně patrné, že průběh pokusu byl velmi podobný. Stejně jako v předchozích dvou testovaných sadách jsme nejdříve zaznamenali prudký nárůst hodnoty  $dE^*$ , která dále vykazovala kolísavý charakter. Toto kolísání hodnot si vysvětlují tím, že je možné, že měření barevnosti na přístroji Hunter Lab bylo sice provedeno ve třech různých místech každého vzorku, ale tato místa se mohla lišit. V důsledku nejnižších hodnot  $L^*a^*b^*$  je z grafu zřejmé, že i  $dE^*$  má celkově nejnižší hodnoty pro vzorek číslo 3. Největší změnu barevnosti respektive zežloutnutí vykazují vzorky číslo 6 a 7.

## 14 VYHODNOCENÍ TAHOVÉ ZKOUŠKY

Tahová zkouška byla provedena pro kontrolu ztráty nebo zachování mechanických vlastností folií po expozici v xenotestu a QUV Testeru, protože samy úbytky hmotnosti a změna barevnosti nestačí pro zhodnocení odolnosti folie světlu. Z mechanických vlastností nás především zajímá tažnost a pevnost, důležité je také vyjádření zachování vlastností v procentech vzhledem k původnímu vzorku. Tahová zkouška byla provedena na tahovém stroji Instron podle postupu uvedeného v kapitole 12.3.1 a za podmínek uvedených také v této kapitole. Od každého vzorku bylo použito 5 kusů mikrotělísek a konečné hodnoty byly získány aritmetickým průměrem jednotlivých měření.

### 14.1 Vyhodnocení vzorků sady 1 a 2

Sada 1 a 2 byla exponována v xenotestu Hanau, jak je popsáno v předchozích kapitolách. Protože v obou sadách byly totožné vzorky, získané hodnoty se zahrnují pod výsledky daného vzorku a proto není každá sada vyhodnocena zvlášť.

Tabulka 42 – Hodnoty pevnosti a tažnosti vzorků TPO 1, 2 a 3

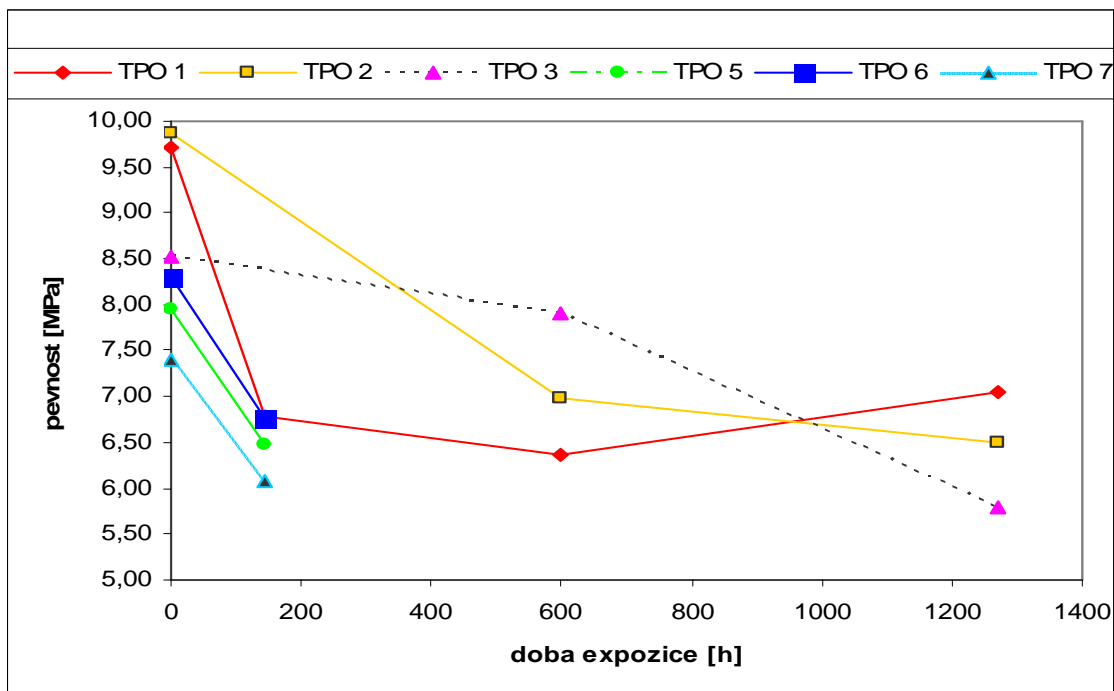
doba expozice v QUV [h]/ $\Delta_{xhod}$ (%)	TPO 1		TPO 2		TPO 3	
	pevnost [MPa]	tažnost [%]	pevnost [MPa]	tažnost [%]	pevnost [MPa]	tažnost [%]
<b>0</b>	9,72	278,6	9,86	301,3	8,52	375,3
$\Delta_0$	100,00	100,0	100,00	100,0	100,00	100,0
<b>144</b>	6,78	85,1	-	-	-	-
$\Delta_{144}$	69,67	30,54	-	-	-	-
<b>600</b>	6,37	53,1	6,99	100,8	7,91	322,7
$\Delta_{600}$	65,53	19,1	70,91	33,5	92,86	86,0
<b>1272</b>	7,06	31,7	6,49	62,0	5,80	73,6
$\Delta_{1272}$	72,59	11,37	65,84	20,58	68,06	19,62

Tabulka 43 – Hodnoty pevnosti a tažnosti pro vzorky TPO 5, 6, 7

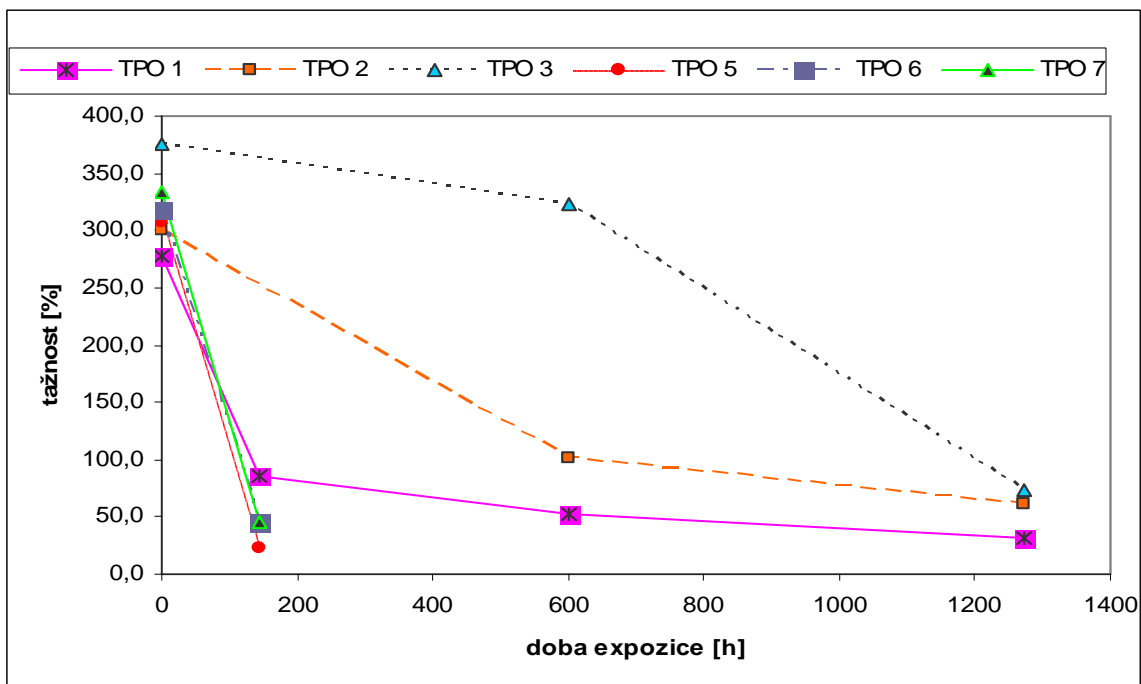
doba expozice v QUV [h]/ $\Delta_{xhod}$ (%)	TPO 5		TPO 6		TPO 7	
	pevnost [MPa]	tažnost [%]	pevnost [MPa]	tažnost [%]	pevnost [MPa]	tažnost [%]
<b>0</b>	7,95	307,6	8,31	317,9	7,40	334,0
$\Delta_0$	100,00	100,0	100,00	100,0	100,00	100,0
<b>144</b>	6,48	22,7	6,76	45,4	6,08	44,6
$\Delta_{144}$	81,42	7,39	81,40	14,28	82,09	13,35



Graf 4 – Pevnost vzorků v závislosti na době expozice v xenotestu



Graf 5 – Tažnost vzorků v závislosti na době expozice v xenotestu



Tabulka 44 – Hodnoty pevnosti a tažnosti  
pro PVC 1

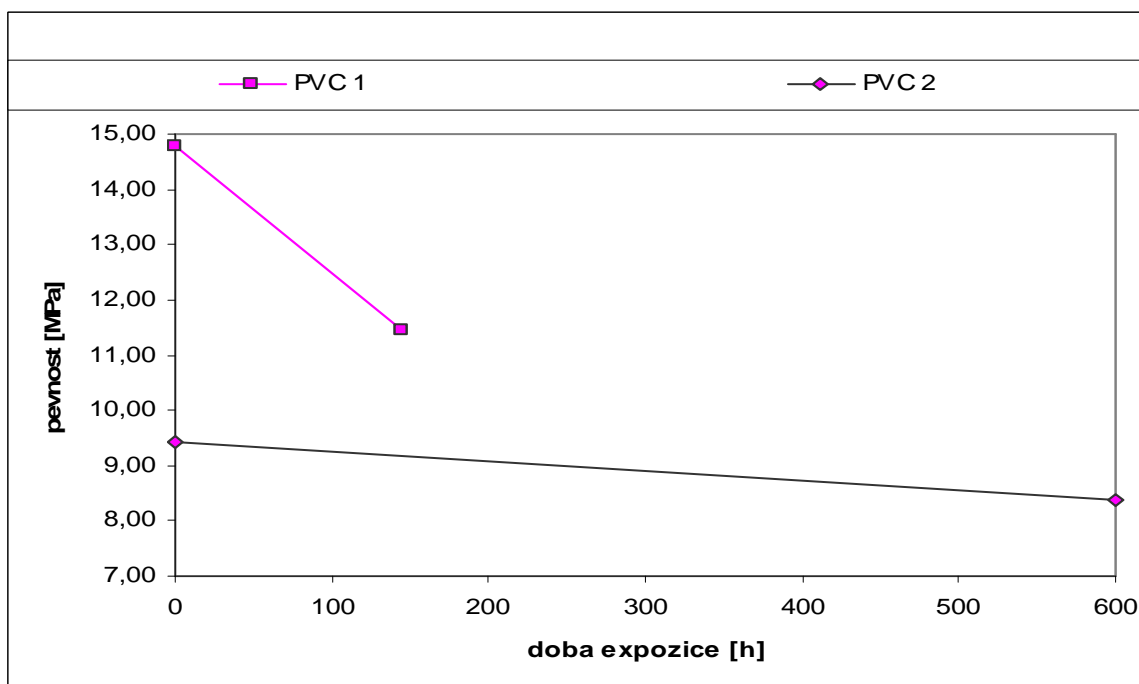
PVC 1		
Doba expozice v QUV/ $\Delta_{x\text{hod}}$ [%]	pevnost [MPa]	tažnost [%]
<b>0</b>	14,78	245,3
$\Delta_0$	100,00	100,0
<b>144</b>	11,46	3,0
$\Delta_{144}$	77,54	1,2

Tabulka 45 – Hodnoty pevnosti a tažnosti  
pro PVC 2

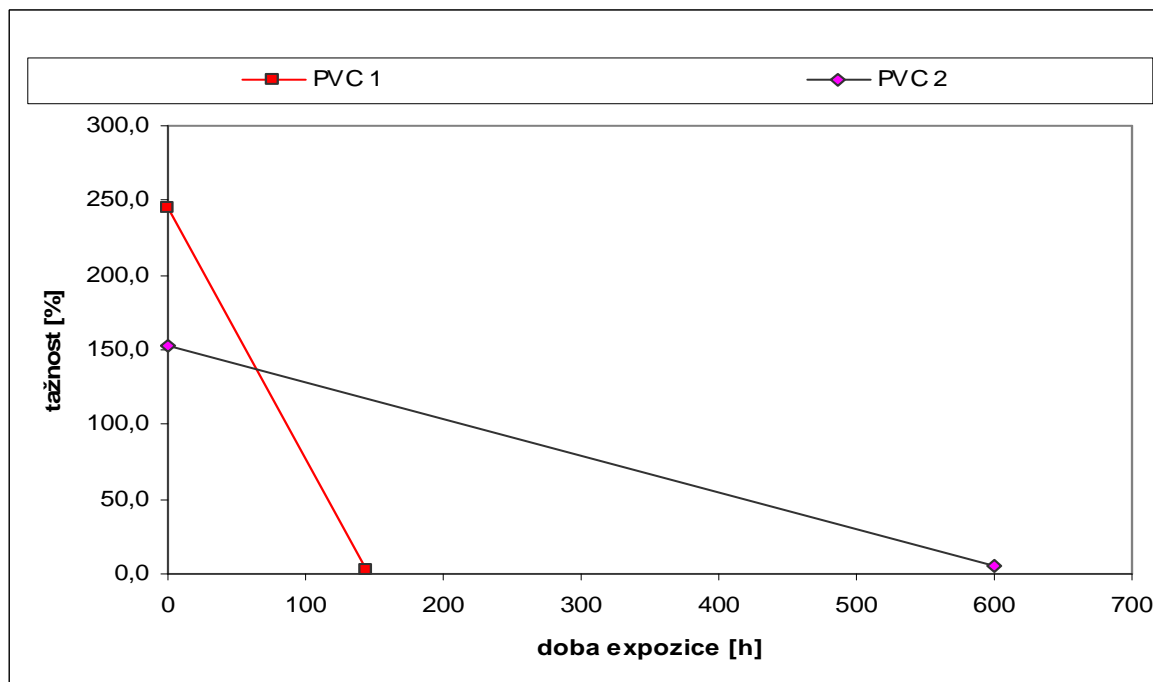
PVC 2		
doba expozice v QUV/ $\Delta_{x\text{hod}}$ [%]	pevnost [MPa]	tažnost [%]
<b>0</b>	9,44	153,1
$\Delta_0$ (%)	100,00	100,0
<b>600</b>	8,37	5,4
$\Delta_{600}$ (%)	88,60	3,55

$\Delta_{x\text{hod}}$  (%) = zůstatek vlastností při x hod QUV v % původní hodnoty neexponovaného vzorku

Graf 6 – Pevnost PVC 1 a 2 v závislosti na době expozice



Graf 7 – Tažnost PVC 1 a 2 v závislosti na době expozice



Z výše uvedených tabulek je zřejmé, že nejvyšší naměřené hodnoty pevnosti vykazuje vzorek TPO folie č. 1, po expozici 1272 hodin v xenotestu si zachoval 72,59% původních vlastností, ale co se týče tažnosti už má pouze 11,37% z původní hodnoty. Znamená to, že vzorek TPO folie č. 1 mírně zkřehnul, proto vykazuje vysokou hodnotu pevnosti, ale se zachováním tažnosti už je to horší. Z toho můžeme vyvodit závěr, že vysoká hodnota pevnosti není pro nás mnoho důležitá. Zajímá nás především hodnota tažnosti. Lépe si v tomto případě vedl vzorek č. 2 a 3. O trochu lepší hodnoty než vzorek 3 jsou hodnoty vzorku 2. Ten sice nevykazuje tak vysokou pevnost po 1272 hodinách expozice, ale hodnota tažnosti u něj dosahuje 20,58% původních vlastností.

Pokud bychom měli srovnávat hodnoty po 144 hodinách expozice nejlépe by se co se týče pevnosti choval vzorek TPO folie č. 7, ale co se týče zachování tažnosti nemůže se s výsledky vzorku 2 srovnávat.

Co se týče PVC 1 a 2 nejsou výsledky nikterak překvapivé. PVC 1 s použitým DOP změkčovadlem se chovalo přesně podle očekávání. Díky použitému typu změkčovadla dříve zkřehlo než PVC 2, které mělo jako změkčovadlo použít DIDP, což je patrné i z hodnot výše v tabulce. Díky jinému změkčovadlu si PVC 2 zachovalo mírně vyšší hodnotu tažnos-

ti než PVC 1 i přes to jsou ale tyto výsledky ve srovnání s dosaženými hodnotami u TPO folií žalostné.

## 14.2 Vyhodnocení vzorků z QUV Testeru

Tahové zkoušky vzorků z QUV testeru byly provedeny za stejných podmínek a postupu jako tahová zkouška vzorků z xenotestu. Podmínky provedení zkoušky na stroji Instron jsou shrnuty v kapitole 10.3.1. Níže jsou uvedeny tabulky, ve kterých jsou shrnuty výsledky tažnosti a pevnosti jednotlivých vzorků. Hodnoty v různých intervalech měření jsou také vyjádřeny jako zůstatek vlastností v procentech, vztaženo k neexponovanému vzorku.

Pro lepší přehlednost jsou tabulky rozděleny pro vzorek 1, 2 a pro vzorek 3. Další tabulka (tabulka 46, 47) poté shrnuje výsledky ostatních vzorků (kromě PVC 1 a 2). V grafech (graf 8, 9, 10, 11) vycházejících z těchto tabulek jsou poté zobrazeny průběhy tažnosti a pevnosti TPO i PVC folií v závislosti na době expozice.

Tabulka 46 – Mechanické vlastnosti a změna hmotnosti vzorků 1 a 2 z QUV Testeru

doba expozice v QUV [h] / $\Delta_{x\text{hod}}$ [%]	TPO 1			TPO 2		
	pevnost [MPa]	tažnost [%]	změna hmotn. [%]	pevnost [MPa]	tažnost [%]	změna hmotn. [%]
<b>0</b>	9,69	284,1	0,00	10,01	305,6	0,00
$\Delta_0$	100,00	100,0	-	100,00	100,0	-
<b>1004</b>	-	-	-0,08	-	-	-0,13
<b>2000</b>	8,97	294,4	-0,30	9,26	296,3	-0,50
$\Delta_{2000}$	92,54	103,6	-	92,46	97,0	-
<b>3000</b>	-	-	-0,35	-	-	-0,59
<b>4000</b>	9,18	281,9	-0,41	9,17	268,9	-0,70
$\Delta_{4000}$	94,74	99,2	-	91,57	88,0	-

Pozn:  $\Delta_{x\text{hod}}$  (%) = zůstatek vlastností při x hod QUV v % původní hodnoty neexponovaného vzorku

Tabulka 47 - Mechanické vlastnosti a změna hmotnosti  
vzorku 3 z QUV Testeru

TPO 3			
dobu expozice v QUV [h] / $\Delta_{x\ hod}$ [%]	pevnost [MPa]	tažnost [%]	změna hmotn. [%]
0	6,96	349,2	0,00
$\Delta_0$	100,00	100,0	
1005			0,06
2010			0,00
$\Delta_{2010}$			
3015			-0,24
4106	6,65	335,5	-0,24
$\Delta_{4106}$	95,56	96,08	
6000	5,90	314,9	-0,42
$\Delta_{6000}$	84,70	90,18	

Pozn:  $\Delta_{x\ hod}$  (%) = zůstatek vlastností při x hod QUV v % původní hodnoty neexponovaného vzorku

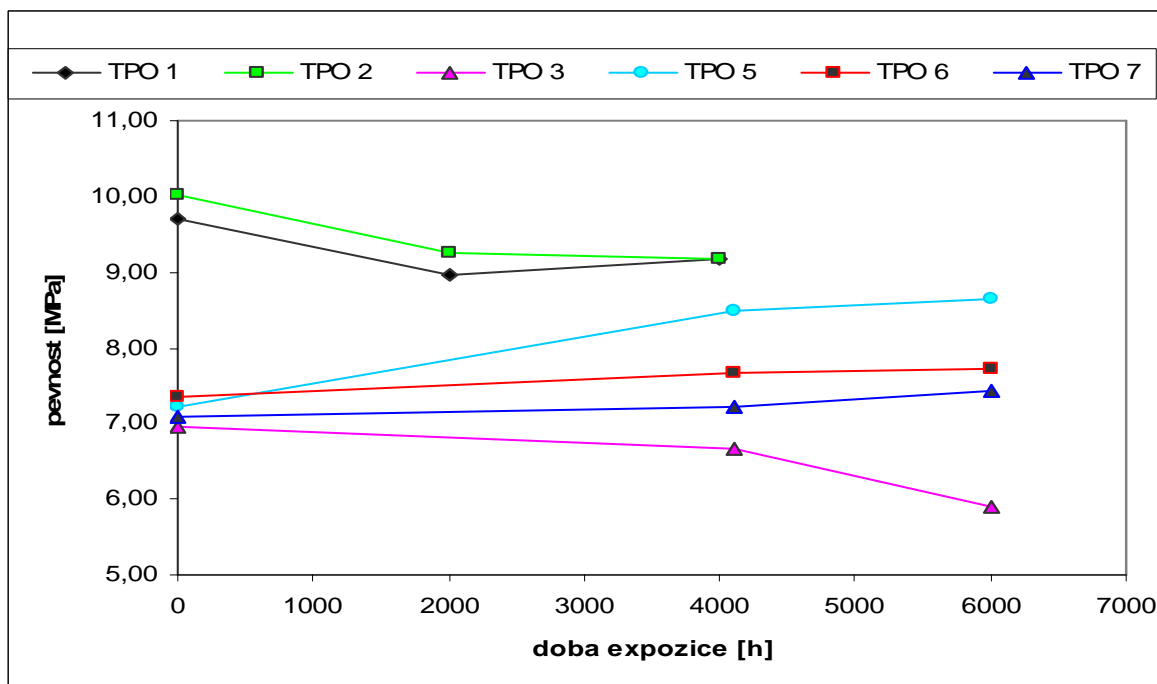
Tabulka 48 - Mechanické vlastnosti a změna hmotnosti vzorků 1 a 2 z QUV Testeru

dobu expozice v QUV [h] / $\Delta_{x\ hod}$ [%]	TPO 5			TPO 6			TPO 7		
	pevnost [MPa]	tažnost [%]	změna hmotn. [%]	pevnost [MPa]	tažnost [%]	změna hmotn. [%]	pevnost [MPa]	tažnost [%]	změna hmotn. [%]
0	7,23	292,1	0,00	7,35	258,9	0,00	7,09	286,2	0,00
$\Delta_0$	100,00	100,0	-	100,00	100,0		100,00	100,0	-
1005	-	-	-1,92	-	-	-0,66	-	-	-0,68
2010	-	-	-3,65	-	-	-1,38	-	-	-1,27
3015	-	-	-4,21	-	-	-2,07	-	-	-1,95
4106	8,49	291,8	-4,63	7,68	250,8	-2,57	7,23	288,1	-2,47
$\Delta_{4106}$	117,35	99,90	-	104,41	96,87	-	102,02	100,66	-
6000	8,64	311,5	-4,99	7,72	263,1	-3,05	7,43	287,5	-2,97
$\Delta_{6000}$	119,50	106,64	-	105,03	101,62	-	104,88	100,45	-

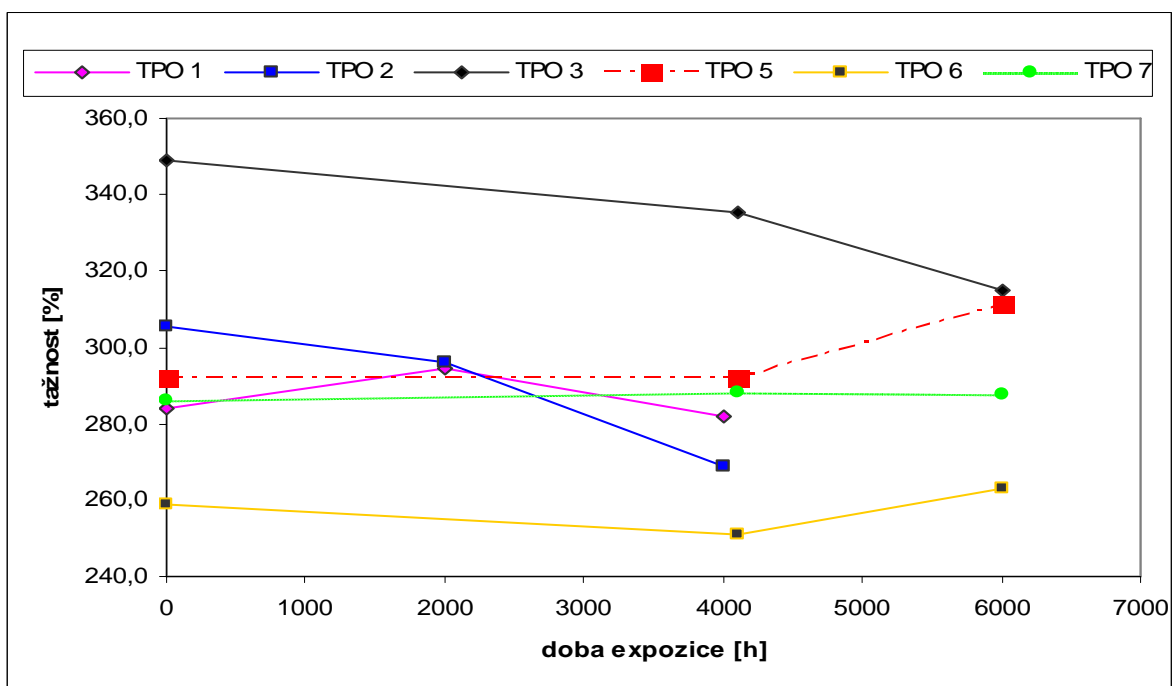
Pozn. : U vzorků TPO 5, TPO6 a TPO 7 pozorován bílý výkvět na povrchu (zřejmě použitý retardér hoření)

Pozn.:  $\Delta_{x\ hod}$  (%) = zůstatek vlastností při x hod QUV v % původní hodnoty neexponovaného vzorku

Graf 8 – Pevnost vzorků TPO folií v závislosti na době expozice v QUV Testeru



Graf 9 – Tažnost vzorků TPO folií v závislosti na době expozice v QUV Testeru



Tabulka 49 - Mechanické vlastnosti a změna hmotnosti pro PVC 1 z QUV Testeru

PVC 1			
doba expozice v QUV/ $\Delta_{x\text{ hod}}$ [%]	pevnost [Mpa]	tažnost [%]	změna hmotn. [%]
<b>0</b>	26,92	333,4	0,0
$\Delta_0$	100,00	100,0	-
<b>1509</b>	27,19	270,5	-6,4
$\Delta_{1509}$	101,00	81,1	-
<b>3009</b>	29,48	171,9	-10,6
$\Delta_{3009}$	109,51	51,6	-

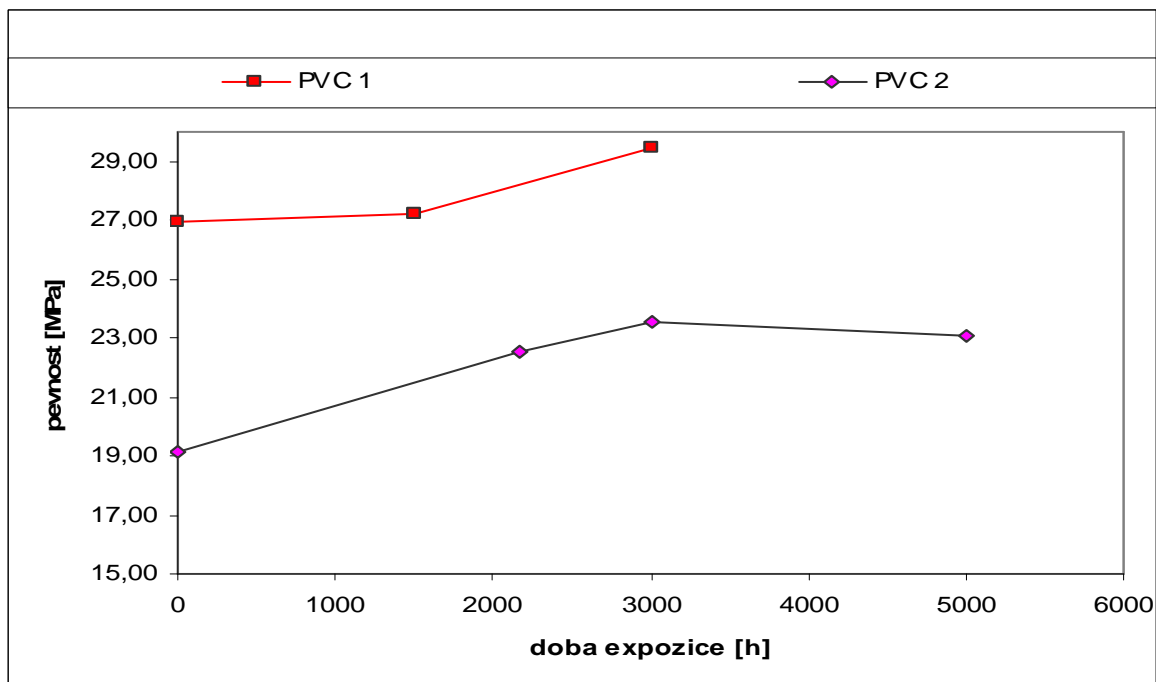
Pozn:  $\Delta_{x\text{ hod}}$  (%) = zůstatek vlastností při x hod QUV v % původní hodnoty neexponovaného vzorku

Tabulka 50 - Mechanické vlastnosti a změna hmotnosti pro PVC 2 z QUV Testeru

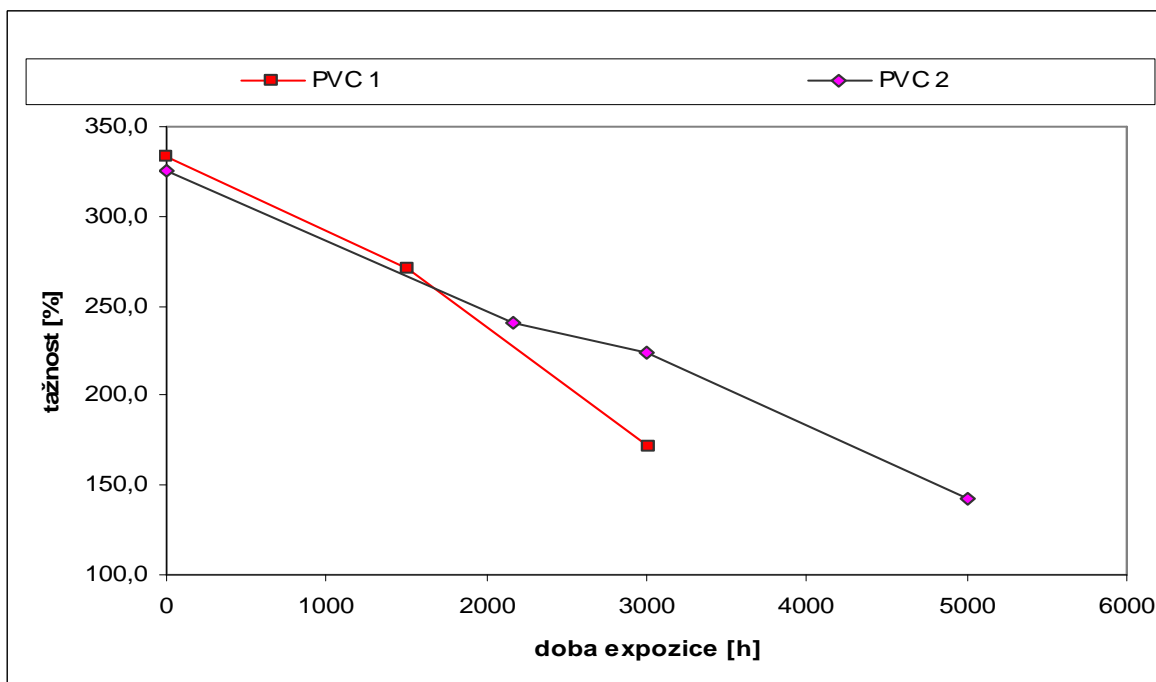
PVC 2			
doba expozice v QUV/ $\Delta_{x\text{ hod}}$ [%]	pevnost [Mpa]	tažnost [%]	změna hmotn. [%]
<b>0</b>	19,15	325,9	0,00
$\Delta_0$	100,00	100,0	-
<b>1007</b>	-	-	-2,54
<b>2162</b>	22,56	240,4	-7,30
$\Delta_{2162}$	117,81	73,8	-
<b>3000</b>	23,54	223,5	-9,99
$\Delta_{3000}$	122,92	68,6	-
<b>5000</b>	23,11	142,0	-13,39
$\Delta_{5000}$	120,68	43,6	-

Pozn:  $\Delta_{x\text{ hod}}$  (%) = zůstatek vlastností při x hod QUV v % původní hodnoty neexponovaného vzorku

Graf 10 – Pevnost vzorků PVC v závislosti na době expozice v QUV Testeru



Graf 11 – Tažnost vzorků PVC v závislosti na době expozice v QUV Testeru





Z tabulky pro vzorky 1 a 2 je zřejmé, že po 5000 hodinách v QUV testeru si vzorek 1 zachoval 94,74% původní pevnosti a 99,2% původní tažnosti. Ani vzorky 2 a 3 nemají nikterak špatné výsledky. U obou se zachování tažnosti pohybuje kolem 90% tažnosti původního vzorku. Pevnost u žádného z těchto vzorků neroste, znamená to, že vzorky jen velmi mírně křehly a tvrdly. Tažnost přiměřeně klesá. Pokud srovnáme dosažených hodnot u stejných vzorků v xenotestu a v QUV Testeru můžeme konstatovat, že stárnutí v xenotestu v důsledku použité výbojky s větším rozsahem vlnových délek probíhá několikrát rychleji než v QUV Testeru a proto také rychleji testované vzorky ztrácí svou tažnost a pevnost.

U vzorků číslo 5, 6, 7 pozorujeme vzrůst hodnot pevnosti a tažnosti ve srovnání s hodnotou původního vzorku nad 100%, to může být způsobeno úbytkem retardérů, které se v průběhu urychleného stárnutí z těchto vzorků viditelně vypocovaly ven (viz. i hodnoty změny hmotnosti). Vzhledem k tomu, že retardéry hoření mají charakter plniva, jejich přítomnost zhoršuje fyzikálně mechanické vlastnosti. S poklesem jejich koncentrace v důsledku vypocování mohou směsi vykazovat i mírnou pozitivní změnu fyzikálně mechanických vlastností (pokud se zbytek matrice v důsledku urychleného stárnutí nijak výrazněji nemění).

Také u obou PVC pozorujeme vzrůst pevnosti nad 100% původního vzorku. To je ale u PVC běžné, protože pevnost je napětí na mezi kluzu, které v důsledku odpaření rozpouštědla je větší. PVC tedy zkřehlo odpařením změkčovadel a proto pevnost zdánlivě vzrostla. Tažnost ale rapidně klesá, jak je i patrné z grafu 11. I na hodnotách PVC můžeme porovnat rozdíl v použitých testovacích přístrojích. Zatímco vzorky PVC testované v xenotestu vykazovaly hodnoty tažnosti v řádu jednotek procent k původním hodnotám v případě testování v QUV Testeru si oba typy PVC zachovaly tažnost v desítkách procent i po 5000 hodinách.

## 15 ÚBYTEK HMOTNOSTI

### 15.1 Vyhodnocení sady 1

V sadě 1 bylo obsaženo celkem deset vzorků, z toho bylo devět TPO folií s různým složením a jeden vzorek PVC pro srovnání. Vzorky jsou očíslovány tak, jak je uvedeno v tabulce 2 v části 11 a mají složení, vlastnosti a rozměry uvedené také v předcházejících částech (kapitola 11.1). Experiment úbytku hmotnosti byl prováděn současně se stárnutím vzorků v xenotestu, tento experiment je popsán výše. V této části uvádím pouze výsledky tohoto měření. V tabulce níže (tabulka 51) jsou shrnuty počáteční hmotnosti všech deseti vzorků a jejich konečné úbytky v gramech a miligramech a také úbytek hmotnosti vyjádřený v procentech vztažený k původní hmotnosti vzorku. V tabulce 51 jsou uvedeny hodnoty úbytků hmotnosti po 144 a 1272 hodinách. To je způsobeno tím, že z časových důvodů jsme ponechali vzorky 1 až 3 stárnout v xenotestu do 1272 hodin a ostatní vzorky skončily na 144 hodinách. V grafech je poté pro jasnou ukázkou hmotnostních úbytků zaznamenán průběh měření pro každý vzorek.

Tabulka 51 – Počáteční a konečná hmotnost vzorků sady 1 a celkový úbytek hmotnosti

číslo rámečku (vzorek)	počáteční hmotnost vzorků [g]	hmotnost vzorku po 144 a 1272 h [g]	celkový úbytek hmotnosti [g]	celkový úbytek hmotnosti [mg]	celkový úbytek hmotnosti v %
1 (1)	11,9762	11,8401	0,1361	136,1	-1,136%
2 (2)	11,7219	11,4616	0,2603	260,3	-2,221%
3 (3)	11,9412	11,8642	0,077	77	-0,645%
4 (1)	11,7431	11,6962	0,0469	46,9	-0,399%
5 (5)	13,1963	12,9066	0,2897	289,7	-2,195%
6 (6)	12,5378	12,4389	0,0989	98,9	-0,789%
7 (7)	12,4698	12,0577	0,4121	412,1	-3,305%
8 (8) PVC	11,8094	9,6988	2,1106	2110,6	-17,872%
9 (5)	12,5219	12,4463	0,0756	75,6	-0,604%
10 (6)	12,2321	12,1183	0,1138	113,8	-0,930%

V tabulce 52 a 53 jsou následně rozepsány jednotlivé úbytky hmotnosti pro každý vzorek sady 1 po časových intervalech. Tabulky a grafy jsou pro větší přehlednost rozděleny tak, že pro vzorky 1 až 3 je jedna tabulka a pro zbylé vzorky tabulka druhá. Je to především kvůli tomu, že vzorky 1 až 3 byly sledovány déle. Jednotlivé úbytky hmotnosti jsou vždy

vztaženy k původní hmotnosti jednotlivých vzorků. Pro vzorek číslo 3 chybí data v časových intervalech větších než 984 hodin, je to z důvodu závady na xenotestu a zničení vzorku. U nově nasazeného vzorku 3 pak byla sledována především změna barevnosti v intervalech po 168 hodinách a již ne úbytek hmotnosti, proto data uvedená pro vzorek 3 jsou uvedena po 984 hodinách.

Tabulka 52 - Úbytky hmotnosti vzorků 1-3 sady 1 v čase

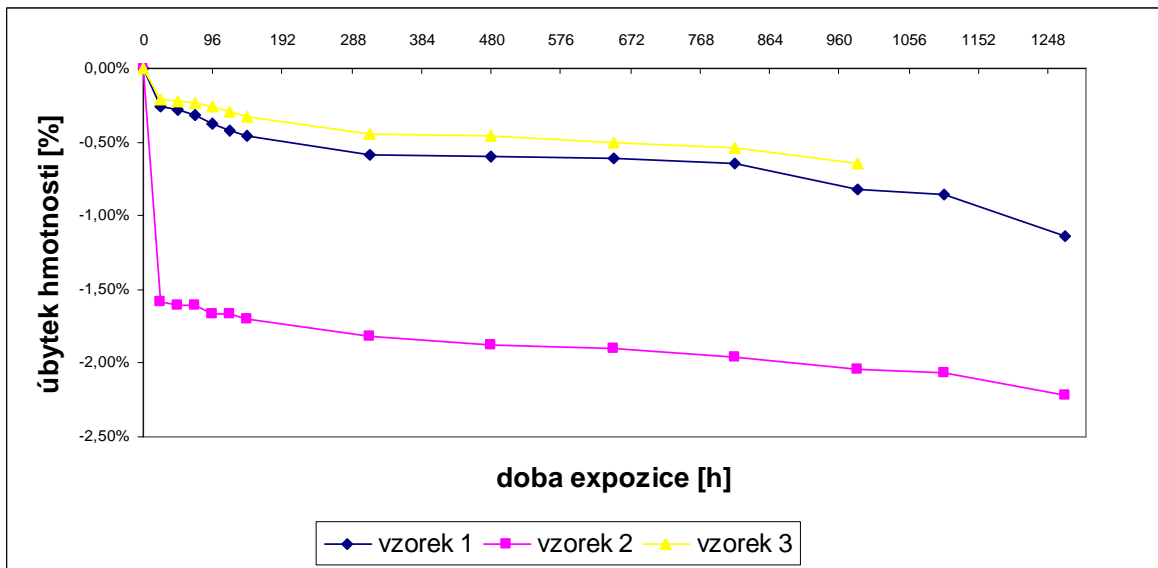
vzorek	počáteční hmotnost vzorků [g]	hmotnost vzorku po 24 h [g]	úbytek po 24 h v %	hmotnost vzorku po 48 h [g]	úbytek po 48 h v %	hmotnost vzorku po 72 h [g]	úbytek po 72 h v %	hmotnost vzorku po 96 h [g]	úbytek po 96 h v %
1	11,9762	11,9456	-0,256%	11,9423	-0,283%	11,9388	-0,312%	11,9312	-0,376%
2	11,7219	11,536	-1,586%	11,5337	-1,606%	11,5335	-1,607%	11,527	-1,663%
3	11,9412	11,9159	-0,212%	11,9141	-0,227%	11,9138	-0,229%	11,9109	-0,254%
vzorek	hmotnost vzorku po 120 h [g]	úbytek po 120 h v %	hmotnost vzorku po 144 h [g]	úbytek po 144 h v %	hmotnost vzorku po 312h [g]	úbytek po 312 h v %	hmotnost vzorku po 480 h [g]	úbytek po 480 h v %	hmotnost vzorku po 648 h [g]
1	11,9256	-0,423%	11,922	-0,453%	11,9065	-0,582%	11,9048	-0,596%	11,9028
2	11,5259	-1,672%	11,5225	-1,701%	11,5093	-1,814%	11,5016	-1,879%	11,4987
3	11,9058	-0,296%	11,9016	-0,332%	11,8886	-0,440%	11,8859	-0,463%	11,8813
vzorek	úbytek po 648 h v %	hmotnost vzorku po 816 h [g]	úbytek po 816 h v %	hmotnost vzorku po 984 h [g]	úbytek po 984 h v %	hmotnost vzorku po 1104 h [g]	úbytek po 1104 h v %	hmotnost vzorku po 1272 h [g]	úbytek po 1272 h v %
1	-0,613%	11,8983	-0,650%	11,8776	-0,823%	11,8739	-0,854%	11,8401	-1,136%
2	-1,904%	11,4928	-1,954%	11,4828	-2,040%	11,4794	-2,069%	11,4616	-2,221%
3	-0,502%	11,8769	-0,538%	11,8642	-0,645%				

Tabulka 53 – Hmotnost vzorků a úbytek hmotnosti v procentech v časových intervalech měření

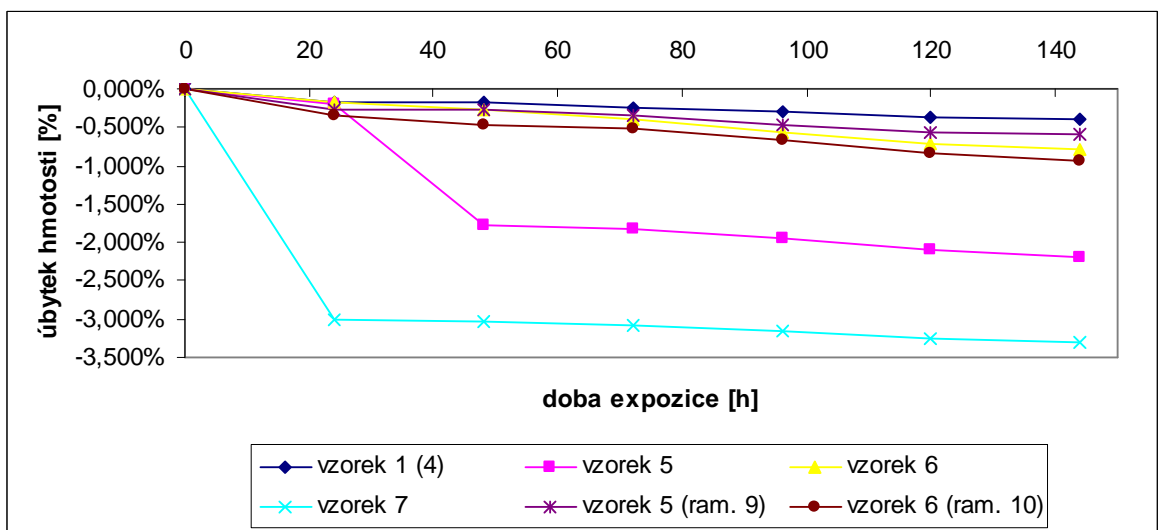
vzorek	počáteční hmotnost vzorků [g]	hmotnost vzorku po 24 h [g]	úbytek po 24 h v %	hmotnost vzorku po 48 h [g]	úbytek po 48 h v %	hmotnost vzorku po 72 h [g]	úbytek po 72 h v %
1 (4)	11,7431	11,724	-0,163%	11,722	-0,180%	11,7133	-0,254%
5	13,1963	13,1714	-0,189%	12,963	-1,768%	12,9565	-1,817%
6	12,5378	12,5171	-0,165%	12,5036	-0,273%	12,489	-0,389%
7	12,4698	12,0942	-3,012%	12,091	-3,038%	12,0871	-3,069%
8 (PVC 1)	11,8094	10,8168	-8,405%	10,5815	-10,398%	10,1712	-13,872%
5 (9)	12,5219	12,4893	-0,260%	12,4886	-0,266%	12,4776	-0,354%
6 (10)	12,2321	12,1898	-0,346%	12,1755	-0,463%	12,169	-0,516%
vzorek	hmotnost vzorku po 96 h [g]	úbytek po 96 h v %	hmotnost vzorku po 120 h [g]	úbytek po 120 h v %	hmotnost vzorku po 144 h [g]	úbytek po 144 h v %	
1 (4)	11,7091	-0,290%	11,6996	-0,370%	11,6962	-0,399%	
5	12,9378	-1,959%	12,9195	-2,098%	12,9066	-2,195%	
6	12,4673	-0,562%	12,4479	-0,717%	12,4389	-0,789%	
7	12,0755	-3,162%	12,0649	-3,247%	12,0577	-3,305%	
8 (PVC 1)	9,9824	-15,471%	9,7779	-17,202%	9,6988	-17,872%	
5 (9)	12,462	-0,478%	12,4516	-0,561%	12,4463	-0,604%	
6 (10)	12,1503	-0,669%	12,1292	-0,841%	12,1183	-0,930%	

Pro jasnou představu průběhu sledování změn hmotnosti v závislosti na čase a době expozice v xenotestu jsou níže uvedeny grafy s průběhem hmotnosti jednotlivých vzorků sady 1. Pro větší přehlednost z důvodu velmi malých úbytků hmotnosti TPO folií a velkých úbytků u PVC jsem ještě pro PVC vytvořila graf závislosti úbytků hmotnosti zvlášť (graf 14).

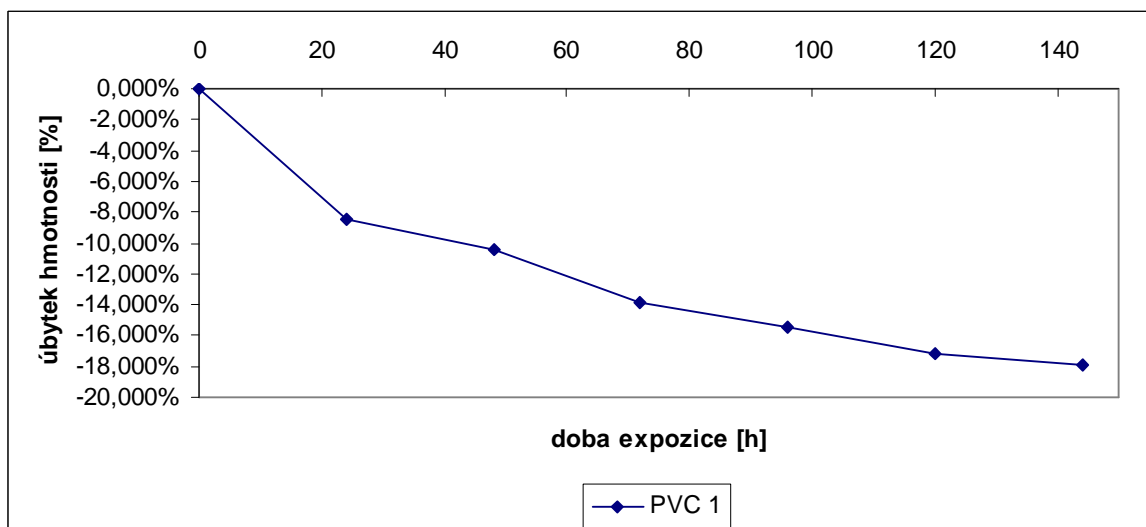
Graf 12 – Znázornění poklesu hmotnosti vzorků 1-3 sady 1



Graf 13 – Zobrazení průběhu poklesu hmotnosti v % pro vzorky 4-8 sady 1 (kromě PVC)



Graf 14 – Průběh úbytků hmotnosti vzorku PVC v % v závislosti na době expozice



Ze všech grafů i tabulek uvedených výše je jasně patrné, že úbytek hmotnosti je velmi rapidní pro vzorek PVC. Ve srovnání s ním vykazují TPO folie o mnoho stálejší vlastnosti. U TPO folií je úbytek hmotnosti v řádu maximálně stovek miligramů (viz tabulka 51), ale také s časem mírně rostl. Při vyjádření úbytků hmotnosti v procentech vidíme, že nejlépe se choval vzorek číslo 3, který vykazuje -0,65% (po 984 hod v Xenotestu) vzhledem k původní hmotnosti vzorku. Co se týče vzorku číslo 7 vykazuje o mnoho větší úbytek hmotnosti než ostatní vzorky TPO folií. To může být způsobeno vykvétáním složek, pravděpodobně retardérů hoření na povrch. Vzhledem k zaznamenané vysoké teplotě v xenotestu není žádným překvapením, že PVC ztratilo už po 144 hodinách expozice v xenotestu 17,9% své původní hmotnosti.

## 15.2 Vyhodnocení sady 2

Pro lepší kontrolu výsledků jsem po dohodě s vedoucím práce nasadila do xenotestu sadu vzorků č. 2. Tato sada se již neskládala ze všech vzorků jako sada 1, ale pouze z těch, které v sadě 1 vykazovaly největší stálost vlastností. Pro kontrolu bylo opět současně nasazeno i PVC, tentokrát s jiným změkčovadlem než v sadě 1. Složení sady 2 stejně jako samotných vzorků je podrobně popsáno v předchozích kapitolách (kapitola 11).

Níže jsou uvedeny jednotlivé tabulky s výsledky experimentů ve stejném složení jako v předchozí části. Pro demonstraci poklesu hmotnosti jednotlivých vzorků jsou výsledky graficky znázorněny v grafech (graf 15 a 16).

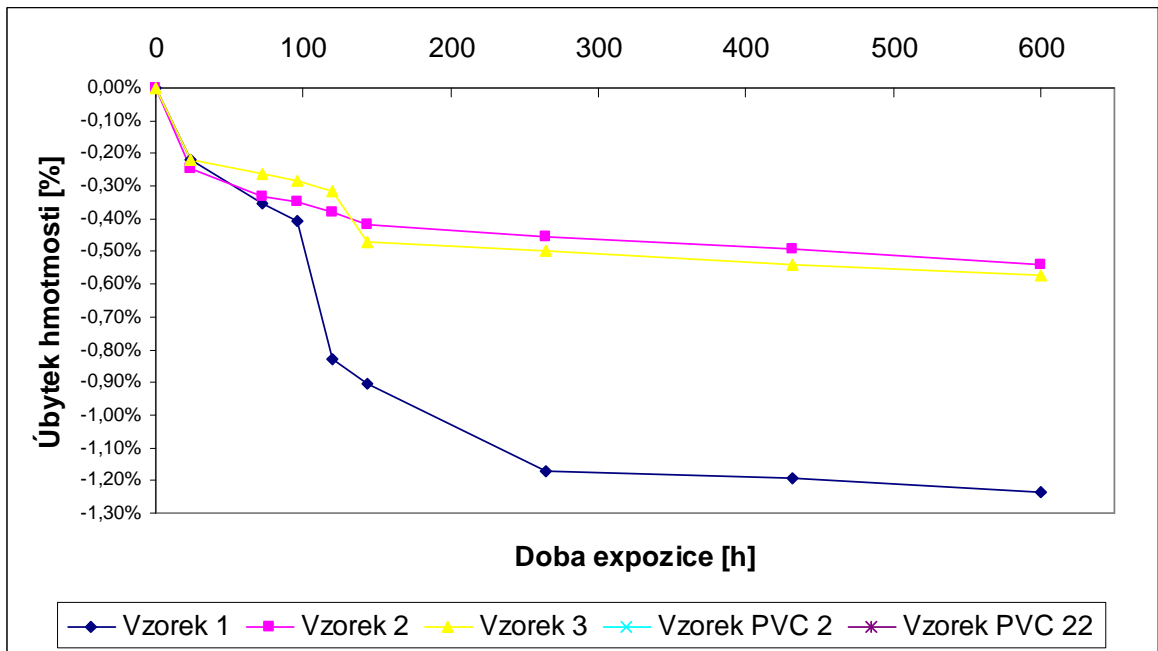
Tabulka 54 - Počáteční a konečná hmotnost vzorků sady 2 a celkový úbytek hmotnosti

číslo rámečku (vzorek)	počáteční hmotnost vzorků [g]	hmotnost vzorku po 264 a 600 h [g]	celkový úbytek hmotnosti [g]	úbytek po 264 a 600 h [mg]	celkový úbytek hmotnosti [%]
4 (1)	13,0856	12,9237	0,1619	161,9	-1,237%
5 (2)	11,8003	11,7367	0,0636	63,6	-0,539%
6 (3)	13,1475	13,0724	0,0751	75,1	-0,571%
7 (PVC 2)	11,1933	9,9038	1,2895	1289,5	-11,520%
8 (PVC 2 <sub>2</sub> )	10,7034	9,4369	1,2665	1266,5	-11,833%

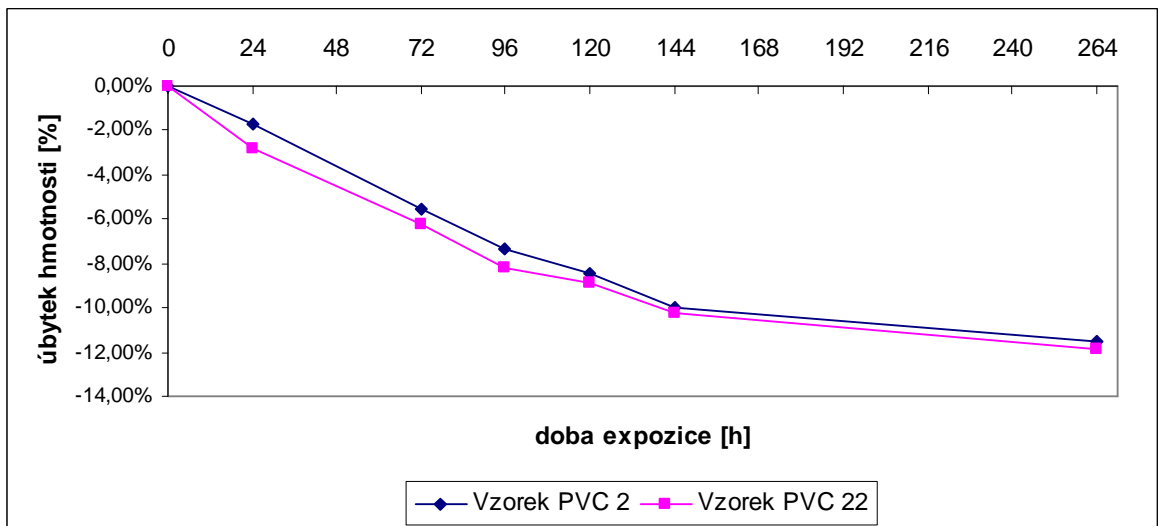
Tabulka 55 – Hmotnost vzorků sady 2 a úbytky hmotnosti vzorků v časových intervalech

vzorek (rámeček)	počáteční hmotnost vzorků [g]	hmotnost vzorku po 24 h [g]	úbytek hmotnosti po 24 h [%]	hmotnost vzorku po 72 h [g]	úbytek hmotnosti po 72 h [%]	hmotnost vzorku po 96 h [g]	úbytek hmotnosti po 96 h [%]
1 (4)	13,0856	13,0566	-0,222%	13,0393	-0,354%	13,0321	-0,409%
2 (5)	11,8003	11,7714	-0,245%	11,7613	-0,331%	11,7591	-0,349%
3 (6)	13,1475	13,1189	-0,218%	13,113	-0,262%	13,1104	-0,282%
PVC 2 (7)	11,1933	11,0012	-1,716%	10,5709	-5,560%	10,3682	-7,371%
PVC 2 <sub>2</sub> (8)	10,7034	10,402	-2,816%	10,0321	-6,272%	9,8226	-8,229%
vzorek (rámeček)	hmotnost vzorku po 120 h [g]	úbytek hmotnosti po 120 h [%]	hmotnost vzorku po 144 h [g]	úbytek hmotnosti po 144 h [%]	hmotnost vzorku po 264 h [g]	úbytek hmotnosti po 264 h [%]	hmotnost vzorku po 432 h [g]
1 (4)	12,9771	-0,829%	12,9676	-0,902%	12,9325	-1,170%	12,9298
2 (5)	11,7552	-0,382%	11,7512	-0,416%	11,7468	-0,453%	11,7423
3 (6)	13,1058	-0,317%	13,0853	-0,473%	13,0824	-0,495%	13,0768
PVC 2 (7)	10,2446	-8,476%	10,078	-9,964%	9,9038	-11,520%	
PVC 2 <sub>2</sub> (8)	9,7569	-8,843%	9,6095	-10,220%	9,4369	-11,833%	
vzorek (rámeček)	úbytek hmotnosti po 432 h [%]	hmotnost vzorku po 600 h [g]	úbytek hmotnosti po 600 h [%]				
1 (4)	-1,191%	12,9237	-1,237%				
2 (5)	-0,492%	11,7367	-0,539%				
3 (6)	-0,538%	13,0724	-0,571%				

Graf 15 – Průběh úbytků hmotnosti pro vzorky sady 2



Graf 16 – Průběh úbytků hmotnosti v procentech pro vzorky PVC 2 a PVC 2<sub>2</sub>



Z tabulek a grafů je zřejmé, že ani druhé použité PVC neobstálo při vysoké teplotě v xenotestu a vzhledem k velkým úbytkům hmotnosti také docházelo k vypařování změkčovadla, stejně jako v případě vzorku PVC v sadě 1. Úbytek hmotnosti byl tedy u vzorku PVC vel-

mi znatelný a testování PVC bylo tedy vzhledem k jeho velkému tvrdnutí zastaven po 264 hodinách. Stále ale bylo použité PVC 2 vzhledem k jinému změkčovadlu ve srovnání s PVC 1 odolnější záření a vysoké teplotě v xenotestu. PVC 2 dosáhlo po 264 hodinách v xenotestu úbytku hmotnosti 11,52% a 11,83% z původní hmotnosti. Ostatní vzorky pokračovaly v expozici na 600 hodin. Stejně jako v případě sady 1, TPO folie v sadě 2 vykazují značnou stálost hmotnosti po celou dobu testování. Úbytek hmotnosti byl víceméně konstantní s velmi mírným růstem. Touto srovnávací sadou pro ověření výsledků sady 1 jsem skutečně ověřila, že urychlenému stárnutí a drastickým podmínkám v xenotestu nejlépe odolává TPO folie číslo 3, která po 600 hodinách vykazuje úbytek 0,57% původní hmotnosti. Z grafu je ale patrné, že ve sledovaných časových intervalech měl menší úbytky hmotnosti vzorek číslo 2. Jeho křivka je v grafu umístěna nad křivkou vzorku číslo 3. Celkový úbytek hmotnosti vzorku 2 je ale větší než úbytek vzorku 3, protože hmotnost vzorku číslo 3 klesala až do 144 hodin velmi zvolna a větší nárůst úbytků nastal až po 144 hodinách.

### 15.3 Úbytek hmotnosti vzorků z QUV Testeru

Také jako v případě vzorků v xenotestu i u vzorků exponovaných v QUV Testeru byly sledovány úbytky hmotnosti v důsledku expozice světlem. Vzorky byly váženy v různých časových intervalech, intervaly vážení se shodovaly s intervaly pro měření barevnosti. V tabulkách níže jsou uvedeny hodnoty úbytků hmotnosti vzorků v časových intervalech vzhledem k počáteční hmotnosti vzorku. Stejně jako u měření barevnosti se časové rozmezí měření mírně liší u vzorků číslo 1 a 2 a ostatních vzorků. Níže v grafech (graf 17 a 18) je znázorněn průběh zaznamenaných úbytků hmotnosti v závislosti na době expozice v QUV Testeru.

Tabulka 56 – Úbytky hmotnosti vzorku 1 z QUV Testeru

TPO 1	hod QUV	0	1004	2000	3000	4000
	A	0,00%	-0,10%	-0,32%	-0,37%	-0,44%
B	0,00%	-0,06%	-0,28%	-0,34%	-0,37%	
Prům. :	0,00%	-0,08%	-0,30%	-0,35%	-0,41%	



Tabulka 57 - Úbytky hmotnosti vzorku 2 z QUV Testeru

TPO 2	hod QUV	0	1004	2000	3000	4000
	A	0,00%	-0,17%	-0,53%	-0,63%	-0,71%
	B	0,00%	-0,10%	-0,47%	-0,55%	-0,69%
	<b>Prům. :</b>	<b>0,00%</b>	<b>-0,13%</b>	<b>-0,50%</b>	<b>-0,59%</b>	<b>-0,70%</b>

Tabulka 58 - Úbytky hmotnosti vzorku 3 z QUV Testeru

TPO 3	hod QUV	0	1005	2010	3015	4106	6000
	A	0,00%	0,05%	-0,01%	-0,22%	-0,20%	-0,34%
	B	0,00%	0,07%	0,02%	-0,25%	-0,28%	-0,51%
	<b>Prům. :</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,06%</b>	<b>0,00%</b>	<b>-0,24%</b>	<b>-0,24%</b>	<b>-0,42%</b>

Tabulka 59 - Úbytky hmotnosti vzorku 5 z QUV Testeru

TPO 5	hod QUV	0	1005	2010	3015	4106	6000
	A	0,00%	-1,98%	-6,28%	-6,81%	-7,24%	-7,29%
	B	0,00%	-1,87%	-1,01%	-1,61%	-2,03%	-2,70%
	<b>Prům. :</b>	<b>0,00%</b>	<b>-1,92%</b>	<b>-3,65%</b>	<b>-4,21%</b>	<b>-4,63%</b>	<b>-4,99%</b>

Tabulka 60 - Úbytky hmotnosti vzorku 6 z QUV Testeru

TPO 6	hod QUV	0	1005	2010	3015	4106	6000
	A	0,00%	0,64%	-1,45%	-2,11%	-2,65%	-2,78%
	B	0,00%	0,69%	-1,32%	-2,03%	-2,49%	-3,32%
	<b>Prům. :</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,66%</b>	<b>-1,38%</b>	<b>-2,07%</b>	<b>-2,57%</b>	<b>-3,05%</b>

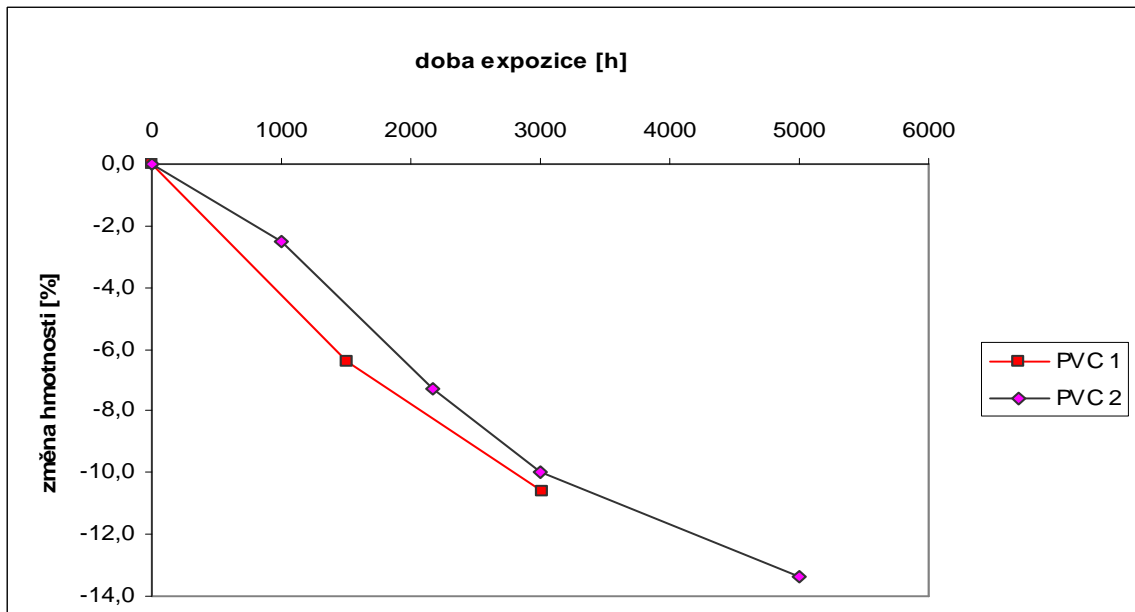
Tabulka 61 - Úbytky hmotnosti vzorku 7 z QUV Testeru

TPO 7	hod QUV	0	1005	2010	3015	4106	6000
	A	0,00%	-0,73%	-1,33%	-2,01%	-2,55%	-2,77%
	B	0,00%	-0,63%	-1,20%	-1,90%	-2,39%	-3,18%
	<b>Prům. :</b>	<b>0,00%</b>	<b>-0,68%</b>	<b>-1,27%</b>	<b>-1,95%</b>	<b>-2,47%</b>	<b>-2,97%</b>

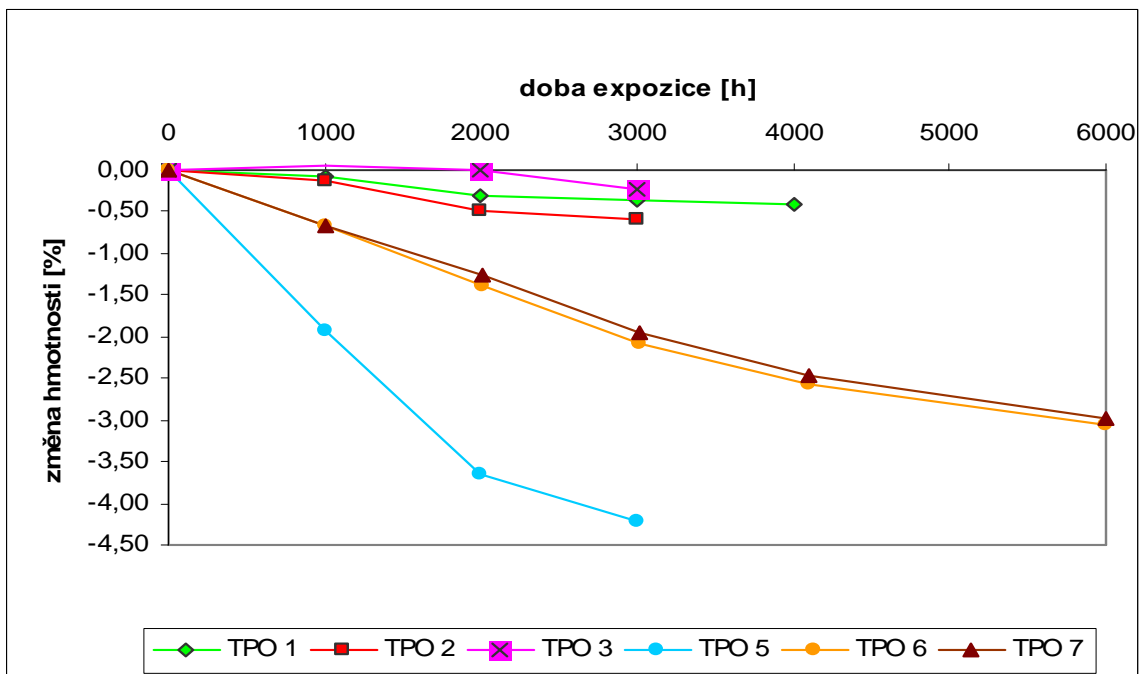
Tabulka 62 – Úbytky hmotnosti pro PVC 1 a 2 v časových intervalech

PVC 2	hod QUV	0	1007	2162	3000	5000
	A	0,00%	-3,10%	-7,67%	-10,59%	-13,68%
	B	0,00%	-1,99%	-6,93%	-9,39%	-13,10%
<b>Prům. :</b>	<b>0,00%</b>	<b>-2,54%</b>	<b>-7,30%</b>	<b>-9,99%</b>	<b>-13,39%</b>	
PVC 1	hod QUV	0	1509		3009	
		0,00%	-6,41%	-	-10,60%	
	<b>Prům. :</b>	<b>0,00%</b>	<b>-6,41%</b>	<b>-</b>	<b>-10,60%</b>	

Graf 17 – Průběh úbytků hmotností PVC 1 a 2 z QUV Testeru v závislosti na době expozice v %



Graf 18 – Průběh úbytků hmotností vzorků z QUV Testeru v závislosti na době expozice



Z výše uvedených tabulek a grafů je jasně patrné, že nejlépe se chová skupina TPO folií se stejným retardérem hoření v receptuře (ethane-1,2-bis(pentabromophenyl)), tedy vzorky 1,

2, 3. Nejmenší úbytky v časových intervalech měření a tím i nejmenší celkový úbytek vykazuje vzorek číslo 3. Jeho úbytek hmotnosti z původní hmotnosti byl po 6000 hodinách v QUV testeru -0,42%. Vzorek číslo 1 sice vykazuje úbytek -0,41%, ale tato hodnota je pouze po 4000 hodinách expozice. Druhá skupina vzorků – tedy vzorky 5-7 již tak dobré výsledky nevykazují. Velký úbytek hmotnosti těchto folií může být způsoben nekompatibilitou složek, což můžeme konstatovat na základě zjištění, že na povrchu těchto vzorků byl vidět bílý výkvět některé ze složek. Pravděpodobně retardéru hoření.

Z grafu 17 je pak zřejmé chování PVC 1 a 2 při expozici v QUV testeru. Úbytky hmotností u obou typů PVC nejsou zdaleka tak rapidní jako v případě testování v xenotestu, ale ve srovnání s TPO foliemi jsou velké. Stejně jako v případě výsledků vzorků z xenotestu se mi potvrdila větší vhodnost použití změkčovadla DIDP, protože vzorek PVC 2 s tímto změkčovadlem vykazoval po expozici v QUV testeru 5000 hodin celkový úbytek hmotnosti 13,39% zatímco PVC 1 vykazovalo již při 3009 hodinách úbytek 10,6% a celkově úbytek hmotnosti byl rychlejší. Lze tedy usuzovat, že při expozici PVC 1 také na 5000 hodin by vykazovalo větší úbytek hmotnosti než PVC 2.

## 16 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Testovala jsem celkem sedm různých vzorků TPO folií a dva různé druhy měkčeného PVC. Sledovanými parametry byla změna barevnosti, úbytek hmotnosti a změna fyzikálně mechanických vlastností (tažnost, pevnost) po expozici vzorků v xenotestu a QUV testeru.

Podle složení jednotlivých folií uvedeného v recepturách lze tyto testované vzorky rozdělit do tří skupin. První skupinu tvoří vzorky TPO folií 1,2,3, které mají stejný obsah hydroxidu hořečnatého, UV stabilizátoru (pouze jiného typu, kromě vzorku 2) a obsahují stejný bromovaný retardér hoření i ve stejném množství. Druhou skupinu tvoří vzorky TPO folií číslo 5-7. Tyto vzorky obsahují také stejné množství hydroxidu hořečnatého, ale ve srovnání s první skupinou obsahují jiný typ bromovaného retardéru hoření, také ve stejném množství. UV stabilizátor byl stejný pro vzorky 1 a 7 a sice N-oktyloxy derivát 2,2,6,6-tetrametyl-1-piperidinetanolu a pro vzorky 3-6 byl použit stabilizátor HALS reakční produkt N,N'-etan-1,2-diyl bis(1,3-propandiaminu) s derivátem triazinu. Vzorek 2 byl úplně bez UV stabilizátoru. Do třetí skupiny lze zahrnout oba vzorky měkčeného PVC. PVC 1 mělo jako změkčovadlo použít DOP a do PVC 2 byl použit DIDP.

Vyhodnocením a srovnáním dat měření barevnosti jednotlivých typů folií jsem zjistila, že celkově na expozici v xenotestu i v QUV testeru reaguje lépe skupina vzorků 1 – tedy vzorky č. 1-3. Z tabulek a grafů uvedených ve výsledkové části je jasně patrná převaha stálosti barevnosti vzorku číslo 1 po expozici v xenotestu. Tento vzorek vykazoval celkovou změnu barevnosti  $dE^*$  po expozici 1272 hodin v xenotestu 0,38. Zvláštností je průběh křivky změny barevnosti v závislosti na době expozice. U všech vzorků křivky kopírují kolísavý charakter změny barevnosti, ale pouze u vzorků 1-3 lze říci, že trend křivky je klesající. Zatímco u vzorků 5-7 křivky také kolísají, pravděpodobně v důsledku změny barevnosti v jiných částech vzorku, celkový trend změny barevnosti je rostoucí. Pokud se blíže podíváme na tabulky hodnot  $dE^*$  pro jednotlivé vzorky zjistíme, že v závislosti na receptuře a různém obsahu složek dochází u vzorků 5-7 ke značným posunům na žluto-modré i červeno-zelené ose barevného systému vzhledem k poloze standartu a tím i k velkým změnám hodnot  $dE^*$ . Vzhledem k poloze standartu v barevném prostoru  $L^*a^*b^*$  a hodnotám  $a^*$  a  $b^*$  vykazuje jasně vzorek číslo 1 nejmenší posun na žluté ose a tím i nejmenší změnu barevnosti. Vzorky 2 a 3 vykazují o něco větší změny hodnot  $a^*$  i  $b^*$ , především hodnoty  $b^*$  jsou u nich ve srovnání se vzorkem 1 kladné, je tedy jednoznačné jejich žloutnutí vli-

vem expozice simulaci slunečního záření v xenotestu. U vzorků 5-7 již po několika desítkách hodin expozice v xenotestu začaly na povrch vykvétat retardéry hoření. Toto vykvétání lze vysvětlit nekompatibilitou retardéru hoření s ostatními složkami. Na povrchu vzorků se následně v důsledku tohoto vykvétání vytvořil žlutý povlak a proto vzorky 5-7 vykazují tak velké posuny na žluté ose v barevném prostoru  $L^*a^*b^*$ . Kromě nekompatibility složek lze toto žloutnutí také vysvětlit tím, že se během stárnutí a probíhající hydrolyzy uvolňovaly kyselé složky, např. bromovodík, který rozkládá zásadité HALS stabilizátory. Při srovnání výsledků vzorků TPO folií testovaných v xenotestu a v QUV testeru zjistíme, že degradace v xenotestu byla rychlejší. To může být způsobeno jinou použitou výbojkou pro simulaci slunečního záření a tím pádem i širším spektrem vlnových délek.

Při testování vzorků v QUV testeru vykazuje největší barevnou stálost nikoli vzorek číslo 1, ale vzorek číslo 3. To lze vysvětlit již zmiňovaným rozdílným světelným spektrem. Zvláštností je rozdílný vliv různého typu záření, respektive různé skladby vlnových délek na vzorky. Pravděpodobně v závislosti také na složení daných folií některé z nich nevykazují stejně jako vzorek 3 po expozici v QUV testeru lepší výsledky než v xenotestu, ale je tomu i naopak. Vzorky s 5 a 6, které po expozici v xenotestu vykazovaly dramatické změny barevnosti po zatížení v QUV testeru vykazují až poloviční hodnoty, v případě vzorku 6 je to hodnota  $dE^*$  menší i o více než polovinu. To může být způsobeno vysokou teplotou zaznamenanou uvnitř xenotestu, kterou špatně snášejí některé přísady, které se v důsledku toho v podstatě vytavily na povrch vzorku a ten zabarvily do žluta.

Co se týče měření změny barevnosti u vzorků PVC nebylo v důsledku rychlého ztřehtnutí a ztvrdnutí testovaných vzorků možné získat větší nebo srovnatelný objem dat jako u TPO folií a proto bylo měření barevnosti u PVC zanecháno po 120 hodinách v případě vzorku PVC 1 a 96 hodinách u vzorku PVC 2. Došlo totiž k tak silnému zkroucení a ztvrdnutí folie, že nebylo možné ji řádně upevnit pod přítlačné zařízení přístroje a měření by bylo zatíženo velkou chybou. Ale i z toho malého množství dat vidíme, že i PVC má velké posuny do žluté části barevného prostoru a lze z toho usuzovat na jeho velké žloutnutí po expozici slunečnímu záření.

Kontrola ztráty či zachování fyzikálně-mechanických vlastností byla provedena tahovou zkouškou. Sledovány byly hodnoty pevnosti a tažnosti. Hodnota tažnosti vyjádřená v procentech vzhledem k původní hodnotě neexponovaného vzorku je považována za více rele-

vantní. Je to způsobeno tím, že rostoucí naměřená pevnost vzorku může být způsobena ztvrdnutím a křehnutím vzorků. To se nám potvrdí pokud klesá i tažnost vzorku. Po zatížení 1272 hodin v xenotestu největší pevnost vzhledem k původním vlastnostem vykazoval vzorek číslo 1 a sice 72,59%. Jeho tažnost si zachovala 11,37% původní tažnosti. Vzorek číslo 3 sice vykazoval mírně menší hodnotu pevnosti, 68,06%, ale tažnost zůstala zachována z 19,62%. Vzorek číslo 2 vykazuje ještě o málo nižší hodnotu pevnosti, ale tažnost zůstala zachována z 20,58% původní hodnoty. Jelikož je tažnost více důležitá než pevnost, můžeme konstatovat, že po stárnutí 1272 hodin v xenotestu se nejlépe chová vzorek číslo 2, jelikož je i to tam náročné expozici v xenotestu nejvíce tažný.

V případě PVC se nám jasně potvrdilo tvrzení, že rostoucí pevnost může být způsobena zkřehnutím vzorku v důsledku odpaření změkčovadel. Hodnoty pevnosti PVC jsou sice nejvyšší, ale tažnost je velmi nízká.

Po expozici 4000 a 6000 hodin v QUV testeru vykazoval největší hodnotu pevnosti vzorek folie číslo 1, tento vzorek si zachoval 94,74% původní pevnosti a 99,2% původní tažnosti. Vzorek 2 si sice zachoval 91,57% původní pevnosti, ale už jen pouze 88% původní tažnosti. V tomto případě se pro nás, na rozdíl expozice v xenotestu lépe choval vzorek číslo 2, u kterého bylo naměřeno 90,18% zachování tažnosti původní folie. U vzorků 5-7 byly jak u pevnosti, tak u tažnosti zaznamenány hodnoty vyšší než 100%, to může být způsobeno již diskutovaným úbytkem retardérů hoření. Srovnáme-li naměřené hodnoty pevnosti a tažnosti u PVC exponovaného v xenotestu a v QUV testeru zjistíme, že pevnost PVC 1 a 2 po expozici v QUV testeru neklesá, ale roste a tažnost po expozici v QUV testeru sice také klesá, ale nikoli tak rapidně jako v případě vzorků z xenotestu. To může být způsobeno vysokou teplotou v xenotestu (naměřeno cca. 100°C), kterou použité změkčovadlo nevydrželo.

Současně s provedenými experimenty popsanými výše byla provedena i kontrola úbytků hmotnosti vzorků exponovaných v xenotestu i QUV testeru. Ze vzorků TPO folií testovaných v xenotestu po dobu 1272 hodin vykazuje nejmenší úbytek hmotnosti vzorek číslo 3 (-0,645 %), špatný výsledek nedosáhl také vzorek 1 (-1,136 %). Horších výsledků dosáhl vzorek 2, ten vykazuje úbytek hmotnosti 2,221 %. U PVC 1 byl úbytek hmotnosti velmi dramatický, což se dalo vzhledem k vysoké teplotě v xenotestu očekávat (-17,872% po 144 hodinách). Ostatní vzorky TPO folií byly testovány také jen 144 hodin (jako PVC), jejich

úbytky hmotností nebyly za tak krátkou dobu nijak drastické. Pouze vzorek 5 a 7 vykazoval velký úbytek hmotnosti z důvodu vytavení retardérů hoření.

Při porovnání úbytků hmotností vzorků testovaných v QUV testeru zjistíme, že vzorky jsou podle úbytků hmotnosti v jiném pořadí než při expozici v xenotestu. Po stárnutí v QUV testeru nejmenší úbytek hmotnosti vykazuje vzorek 1 (-0,41%), tato hodnota je ale zjištěna po expozici 4000 hodin, lze tedy usuzovat, že při prodloužení doby expozice na 6000 hodin jako u vzorku 3, by byl úbytek větší. Nejmenší úbytek lze tedy přisoudit vzorku číslo 3 (-0,42% po 6000 hodinách). Vzorky PVC vykazovaly několikrát vyšší úbytky hmotnosti, ale nikoli tak drastické jako vzorky testované v xenotestu. Zajímavostí je, že vzorek PVC 1 z QUV testeru ve srovnání se vzorkem PVC 1 z xenotestu vykazoval menší úbytek hmotnosti. Z toho lze usuzovat, že použité změkčovadlo lépe odolává UVB záření, které použité výbojky v QUV testeru vyzařovaly.

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, která dostupná TPO folie má nejlepší vlastnosti po expozici slunečnímu záření při urychleném povětrnostním stárnutí v xenotestu a QUV testeru. V závislosti na dosažených výsledcích bylo požadováno vyhodnocení nejlepšího stabilizačního systému, retardéru hoření případně celé receptury nejodolnější střešní hydroizolační folie na bázi TPO (z hlediska délky životnosti v aplikaci a zachování vlastností). Bylo testováno celkem sedm typů TPO folií s různým složením. Pro srovnání vlastností TPO hydroizolačních folií jako relativně mladých materiálů bylo testováno i měkčené PVC, které je nejstarším zástupcem termoplastických foliových hydroizolačních materiálů. TPO folie byly testovány v xenotestu a QUV testeru, kde bylo simulováno urychlené povětrnostní stárnutí, především pak odolnost folie slunečnímu záření. Hodnocení vlastností folií po této expozici bylo provedeno pomocí experimentu změny barevnosti, úbytku hmotnosti a tahové zkoušky.

Testované folie byly vyrobeny vytlačováním na laboratorní lince Dr. Collin. Z nich byly ve směru vytlačování vyříznuty vzorky a ty byly umístěny do xenotestu a QUV testeru.

V xenotestu byly folie testovány nejdéle po 1272 hodin, časové intervaly pro úbytky hmotnosti a měření barevnosti byly nejdříve 48 hodin a po dosažení 144 hodin byly prodlouženy na 168 hodin. Tahová zkouška byla provedena jak u neexponovaných (standardních) vzorků, tak u vzorků exponovaných po 144, 600 a 1272 hodin.

V QUV testeru byly folie exponovány nejdéle po dobu 6000 hodin, časové intervaly pro měření barevnosti a úbytky hmotnosti byly zvoleny na 1000 hodin. Tahové zkoušky byly provedeny nejdříve po 4000 hodinách a poté každých 1000 hodin až do konce experimentu na 6000 hodinách.

Tahová zkouška byla provedena za laboratorní teploty na univerzálním trhacím stroji. Použita byla 100 N hlava a rychlost posuvu čelistí byla zvolena na 50 mm/min.

Ze získaných výsledků experimentu změny barevnosti, experimentu úbytku hmotnosti a hodnot pevnosti a tažnosti po expozici záření jsou za nejvíce relevantní považovány hodnoty tažnosti a úbytků hmotnosti.

Na základě těchto hodnot můžu konstatovat, že nejvýhodněji se pro použití na střešní hydroizolační folie jeví vzorek číslo 1 a 3, tedy receptura Br 13/1 a Br 13/2. Folie číslo 1 po



expozici v xenotestu 1272 hodin vykazuje úbytek hmotnosti -1,136 % vzhledem k původní hmotnosti vzorku a tažnost byla zachována z 11,37 % původní tažnosti. Při expozici v QUV testeru tento vzorek vykazuje úbytek hmotnosti -0,41 % po 4000 hodinách a tažnost z 99,2 % původní hodnoty.

Folie číslo 3 po expozici v xenotestu 1272 hodin vykazuje úbytek hmotnosti -0,645% vzhledem k původní hmotnosti vzorku a tažnost byla zachována z 19,62 % původní tažnosti. Při expozici v QUV testeru tento vzorek vykazuje úbytek hmotnosti -0,42 % po 6000 hodinách a tažnost z 90,18 % původní hodnoty.

Úplně špatná není ani receptura vzorku číslo 2. Tento vzorek překvapivě bez UV stabilizátoru, pouze s obsahem titanové běloby nevykazuje tak špatné hodnoty, jak by se dalo očekávat. Dokonce po testování v xenotestu vykazuje větší tažnost než vzorek číslo 3 (20,58%). Úbytek hmotnosti je však již znatelně horší ve srovnání se vzorky 1 a 3.

Na základě těchto se rozcházejících výsledků je tedy velice obtížné tuto problematiku uzavřít a konstatovat, která receptura je skutečně nejlepší. Všechny tři zmiňované receptury, tedy receptury vzorků 1, 2 a 3 vykazují více než uspokojivé výsledky i přes to, že se liší použitým UV stabilizátorem.

Z hodnot získaných pro vzorky 5-7 je jasné, že v těchto recepturách je značný problém s nekompatibilitou retardéru hoření s UV stabilizátorem. Retardér vykvétal na povrch folie a tím zvětšoval jak úbytky hmotnosti těchto folií, tak hodnoty změny barevnosti. Celková odolnost těchto folií pak byla nízká pravděpodobně z důvodu probíhající kyselé hydrolyzy, která odbourává zásadité NOR HALS stabilizátory. Z hodnot získaných pro oba vzorky PVC je jasné, že PVC vůbec již není vhodné pro použití do tak namáhaných aplikací, kde se vyskytují vysoké teploty a mechanické namáhání. Změkčovadla v něm použitá se odpařují a ke ztrátě mechanických vlastností dochází velmi brzy.

S jistotou pak mohu konstatovat, že výsledky především závisí na zkušebních metodách, které byly použity. Značně rozdílná světelná spektra a teplotní podmínky v obou zkušebních přístrojích mají zřejmě za následek takové rozcházení se výsledků. Jednoznačné je také to, že stárnutí v xenotestu probíhalo mnohem rychleji než v QUV testeru.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Střešní systémy TPO, dostupné z www: <http://www.epdm.cz/stresni-systemy/investori-a-vlastnici/systemy-tpo>
- [2] Rozdělení plastů, dostupné z www: <http://www.wikipedia.com/plastics>
- [3] Střešní systémy na bázi TPO, dostupné z www: [http://www.astm.org/SNEWS/AUGUST\\_2003/obeoli\\_aug03.html](http://www.astm.org/SNEWS/AUGUST_2003/obeoli_aug03.html)
- [4] Vratislav Ducháček: Termoplastické elastomery – moderní polymerní materiály, Chemické listy 91, 23 – 29, 1997, dostupné z www: [www.chemicke-listy.cz](http://www.chemicke-listy.cz)
- [5] Josef Mleziva: Polymery – struktura, vlastnosti a použití, Sobotáles, Praha, 1993
- [6] Polyethylen a polypropylen, dostupné z www: <http://ireferaty.lidovky.cz/303/4851/Polyethylen-a-Polypropylen>
- [7] Materiály pro stavebnictví – Polyethylen, dostupný z www: [http://www.portaflex.cz/cz/produkty/materialy-pro-stavebnictvi/polyetylen/art\\_53/article.aspx](http://www.portaflex.cz/cz/produkty/materialy-pro-stavebnictvi/polyetylen/art_53/article.aspx)
- [8] Jiří Drobny: Handbook of Thermoplastic Elastomers, Drobny Polymer Associates, Plastic Design Library, New York, USA, 2007, ISBN
- [9] Nello Pasquini: Polypropylene Handbook, Hanser/Gardner Publisher, Munich 2005, 2nd edition
- [10] Povětrnostní stárnutí – popis vynálezu, dostupné z www: <http://spisy.upv.cz/Patents/FullDocuments/233/233915.pdf>
- [11] C. Abramoff: Mod. Plast. Encyklopédia 53 (10 A), strana 222, 1977
- [12] B. Doležel: Odolnost plastů a pryží, SNTL, Praha, 1981
- [13] J. Horálek, M. Schovanec: Nové směry v UV stabilizaci ochranných povlaků a substrátů, Chemické listy 101, 157 – 164, 2007
- [14] Petr Svora: Vliv UV stabilizátoru na fyzikálně – mechanické vlastnosti kompozitu s dlouhovláknou výztuží, VUT Brno, 2007, dostupný z www: [http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/Sekce\\_4.1/Svora\\_Petr\\_CL.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/Sekce_4.1/Svora_Petr_CL.pdf)

- [15] Sklářská technologie – výroba skelného vlákna, dostupná z www:  
<http://www.ravemedia.cz/www/tt/vyroba-detail.php?id=75>
- [16] J. Zelinger, J. Štěpek, A. Kuta: Technologie zpracování a vlastnosti plastů, SNTL/ALFA, 1. vydání, Praha, 1989
- [17] A. Králová, L. Klimánek: Zpracování polymerů, SNTL, 1. vydání, Praha, 1986
- [18] J. Jarušek: Metody zkoumání polymerů, VŠCHT, Pardubice, 1989, 2. vydání, ISBN 80 – 85113 – 01 - 5

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

TPE	termoplastický elastomer
EBA	etylen-butyl akrylát kopolymer
TPE-S	termoplastický polyolefin se styrenem
TPE-V	termoplastický vulkanizát na bázi polyolefinů
TPO	termoplastické polyolefiny
FPO	flexibilní polyolefin
EPDM	ethylen – propylen dienový kaučuk
EPR	ethylen propylenový kaučuk
DOP	dioktylfталát
DIDP	diisodecylfталát
HIF	hydroizolační folie
$T_g$	teplota skelného přechodu
$T_m$	teplota tání
PVC-P	měkčený polyvinylchlorid
PP	polypropylen
$H_2SO_4$	kyselina sírová
HCl	kyselina chlorovodíková
$HNO_3$	kyselina dusičná
HF	kyselina fluorovodíková
PE	polyethylen
UHMWPE	ultravysocехustotní polyethylen
HDPE	vysocехustotní polyethylen
HDXLPE	vysocехustotní polyethylen s křížovými vazbami
PEX	vysocехustotní polyethylen s křížovými vazbami s vyšší teplotní odolností

---

LLDPE	lineární nízkohustotní polyethylen
MDPE	středně hustotní polyethylen
LDPE	nízkohustotní polyethylen
VLDPE	lineární polyethylen s metallocenovými katalyzátory
O <sub>2</sub>	molekula kyslíku
O <sub>3</sub>	molekula ozonu
nm	nanometr
HALS	stéricky (prostorově) stíněné aminy
SiO <sub>2</sub>	oxid křemičitý
mPVC	měkčený polyvinylchlorid
SBS	styren-butadien styren
aPP	ataktický polypropylen
D	průměr
EVA	ethylenvinyl acetát
dE	rozdíl barevnosti
ATO	oxid antimonitý
MB	masterbatch – předmíchané aditiva k polymeru ve větší koncentraci pro lepší dávkování malých množství
Xe	xenon

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 – Struktura směsi z elastomeru a tuhého polymeru [8] .....	22
Obrázek 2 – Vztah mezi viskozitou složky a jejím množstvím ve směsi [8] .....	22
Obrázek 3 – Schéma šnekového vytlačovacího stroje [16] .....	35
Obrázek 4 – Laboratorní linka Dr. Collin .....	38
Obrázek 5 – Schéma provozní linky Berstorff .....	40
Obrázek 6 – Typy víceválnových strojů, zleva ve tvaru „I“, „L“, „F“ a „Z“ [16] .....	43
Obrázek 7 – Barevný prostor CIE L*a*b* z roku 1976 .....	46
Obrázek 8 – Tvar a rozměry vzorku pro expozici v xenotestu .....	51
Obrázek 9 – Rozměry a tvar mikrotělísek .....	60
Obrázek 10 – QUV Tester .....	61
Obrázek 11 – Xenotest Hanau .....	62
Obrázek 12 – Laboratorní spektrofotometr Hunter Lab pro měření barevnosti .....	63
Obrázek 13 – Příklad pro tahovou zkoušku – Instron 4301 .....	64
Obrázek 14 – Vzhled vzorků 1-5 sady 1 po expozici v xenotestu .....	70
Obrázek 15 - Vzhled vzorků 6-10 sady 1 po expozici v xenotestu .....	70
Obrázek 16 – Vzhled vzorků sady 2 po expozici v xenotestu .....	74

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 – Srovnání vlastností TPO s TPV .....	25
Tabulka 2 – Sada vzorků č. 1 .....	50
Tabulka 3 – Sada vzorků č. 2 .....	51
Tabulka 4 – Průměrná tloušťka vzorků .....	52
Tabulka 5 – Obecná receptura vzorku č. 1 (TPO HIF Br 13/2) .....	53
Tabulka 6 – Podmínky při přípravě folie TPO HIF Br 13/2 (vzorek č. 1) .....	53
Tabulka 7 – Obecná receptura hydroizolační folie Br 13/3 (vzorek č. 2) .....	54
Tabulka 8 – Podmínky výroby TPO HIF Br 13/3 (vzorek č. 2) .....	54
Tabulka 9 – Obecná receptura folie Br 13/1 (vzorek č. 3) .....	55
Tabulka 10 – Podmínky přípravy vzorku č. 3 .....	55
Tabulka 11 – Shrnutí složení hydroizolační folie Br 13/V1 (vzorek 5) .....	56
Tabulka 12 – Procesní parametry výroby folie Br 13/V1 .....	56
Tabulka 13 – Obecné složení folie FBr 13/V1 (vzorek 6) .....	57
Tabulka 14 – Procesní podmínky výroby folie FBr 13/V1 .....	57
Tabulka 15 – Obecná receptura TPO HIF FBr 13/V3 (vzorek 7) .....	58
Tabulka 16 – Shrnutí procesních podmínek výroby folie FBr 13/V3 .....	58
Tabulka 17 – Receptura vzorku PVC 1 .....	59
Tabulka 18 – Receptura vzorku PVC 2 .....	59
Tabulka 19 – Souhrn hodnot $L^*a^*b^*$ a $dE^*$ vzorku 1 v časových intervalech .....	66
Tabulka 20 - Souhrn hodnot $L^*a^*b^*$ a $dE^*$ vzorku 2 v časových intervalech .....	67
Tabulka 21 - Souhrn hodnot $L^*a^*b^*$ a $dE^*$ vzorku 3 v časových intervalech .....	67
Tabulka 22 - Souhrn hodnot $L^*a^*b^*$ a $dE^*$ vzorku 1 (rámeček 4) v časových intervalech .....	67
Tabulka 23 - Souhrn hodnot $L^*a^*b^*$ a $dE^*$ vzorku 5 v časových intervalech .....	68
Tabulka 24 - Souhrn hodnot $L^*a^*b^*$ a $dE^*$ vzorku 6 v časových intervalech .....	68
Tabulka 25 - Souhrn hodnot $L^*a^*b^*$ a $dE^*$ vzorku 7 v časových intervalech .....	68
Tabulka 26 - Souhrn hodnot $L^*a^*b^*$ a $dE^*$ vzorku 8 (PVC) v časových intervalech .....	68
Tabulka 27 - Souhrn hodnot $L^*a^*b^*$ a $dE^*$ vzorku 5 (rámeček 9) v časových intervalech .....	69
Tabulka 28 - Souhrn hodnot $L^*a^*b^*$ a $dE^*$ vzorku 6 (rámeček 10) v časových intervalech .....	69

Tabulka 29 – Shrnutí změny $dE^*$ barevnosti vzorků sady 1.....	69
Tabulka 30 – Souhrn hodnot $L^*a^*b^*$ a $dE^*$ vzorku 1 sady 2 v časových intervalech.....	72
Tabulka 31 - Souhrn hodnot $L^*a^*b^*$ a $dE^*$ vzorku 2 sady 2 v časových intervalech .....	73
Tabulka 32 - Hodnoty $L^*a^*b^*$ a $dE^*$ vzorku 3 sady 2 v časových intervalech .....	73
Tabulka 33 - Hodnoty $L^*a^*b^*$ a $dE^*$ vzorku 4 (PVC 2) sady 2 v čase .....	73
Tabulka 34 - Hodnoty $L^*a^*b^*$ a $dE^*$ vzorku 5 (PVC 2 <sub>2</sub> ) sady 2 v čase.....	73
Tabulka 35 - Shrnutí změny $dE^*$ barevnosti vzorků sady 2 .....	74
Tabulka 36 – Hodnoty $L^*a^*b^*$ a $dE^*$ vz. 1 z QUV testeru .....	76
Tabulka 37 – Výsledky měření barevnosti z QUV Testeru pro vzorek 2.....	77
Tabulka 38- Výsledky měření barevnosti – vzorek 3 z QUV testeru .....	77
Tabulka 39 – Měření barevnosti vzorku 5 z QUV testeru .....	77
Tabulka 40 – Měření barevnosti vzorku 6 z QUV testeru .....	78
Tabulka 41 – Měření barevnosti vzorku 7 z QUV testeru .....	78
Tabulka 42 – Hodnoty pevnosti a tažnosti vzorků TPO 1, 2 a 3 .....	80
Tabulka 43 – Hodnoty pevnosti a tažnosti pro vzorky TPO 5, 6, 7.....	80
Tabulka 44 – Hodnoty pevnosti a tažnosti pro PVC 1.....	82
Tabulka 45 – Hodnoty pevnosti a tažnosti pro PVC 2.....	82
Tabulka 46 – Mechanické vlastnosti a změna hmotnosti vzorků 1 a 2 z QUV Testeru.....	84
Tabulka 47 - Mechanické vlastnosti a změna hmotnosti vzorku 3 z QUV Testeru .....	85
Tabulka 48 - Mechanické vlastnosti a změna hmotnosti vzorků 1 a 2 z QUV Testeru.....	85
Tabulka 49 - Mechanické vlastnosti a změna hmotnosti pro PVC 1 z QUV Testeru .....	87
Tabulka 50 - Mechanické vlastnosti a změna hmotnosti pro PVC 2 z QUV Testeru .....	87
Tabulka 51 – Počáteční a konečná hmotnost vzorků sady 1 a celkový úbytek hmotnosti.....	90
Tabulka 52 - Úbytky hmotnosti vzorků 1-3 sady 1 v čase.....	91
Tabulka 53 – Hmotnost vzorků a úbytek hmotnosti v procentech v časových intervalech měření .....	91
Tabulka 54 - Počáteční a konečná hmotnost vzorků sady 2 a celkový úbytek hmotnosti.....	94
Tabulka 55 – Hmotnost vzorků sady 2 a úbytky hmotnosti vzorků v časových intervalech .....	94
Tabulka 56 – Úbytky hmotnosti vzorku 1 z QUV Testeru .....	96



---

Tabulka 57 - Úbytky hmotnosti vzorku 2 z QUV Testeru.....	97
Tabulka 58 - Úbytky hmotnosti vzorku 3 z QUV Testeru.....	97
Tabulka 59 - Úbytky hmotnosti vzorku 5 z QUV Testeru.....	97
Tabulka 60 - Úbytky hmotnosti vzorku 6 z QUV Testeru.....	97
Tabulka 61 - Úbytky hmotnosti vzorku 7 z QUV Testeru.....	97
Tabulka 62 – Úbytky hmotnosti pro PVC 1 a 2 v časových intervalech .....	97

**SEZNAM GRAFŮ**

Graf 1 – Závislost změny barevnosti na době expozice pro sadu 1 .....	71
Graf 2 - Závislost změny barevnosti na čase pro sadu 2.....	75
Graf 3 – Průběh změny barevnosti v závislosti na době expozice vzorků z QUV testeru .....	79
Graf 4 – Pevnost vzorků v závislosti na době expozice v xenotestu .....	81
Graf 5 – Tažnost vzorků v závislosti na době expozice v xenotestu .....	81
Graf 6 – Pevnost PVC 1 a 2 v závislosti na době expozice .....	82
Graf 7 – Tažnost PVC 1 a 2 v závislosti na době expozice .....	83
Graf 8 – Pevnost vzorků TPO folií v závislosti na době expozice v QUV Testeru.....	86
Graf 9 – Tažnost vzorků TPO folií v závislosti na době expozice v QUV Testeru.....	86
Graf 10 – Pevnost vzorků PVC v závislosti na době expozice v QUV Testeru .....	88
Graf 11 – Tažnost vzorků PVC v závislosti na době expozice v QUV Testeru .....	88
Graf 12 – Znázornění poklesu hmotnosti vzorků 1-3 sady 1 .....	92
Graf 13 – Zobrazení průběhu poklesu hmotnosti v % pro vzorky 4-8 sady 1(kromě PVC).....	92
Graf 14 – Průběh úbytků hmotnosti vzorku PVC v % v závislosti na době expozice.....	93
Graf 15 – Průběh úbytků hmotnosti pro vzorky sady 2 .....	95
Graf 16 – Průběh úbytků hmotnosti v procentech pro vzorky PVC 2 a PVC 2 <sub>2</sub> .....	95
Graf 17 – Průběh úbytků hmotností PVC 1 a 2 z QUV Testeru v závislosti na době expozice v % .....	98
Graf 18 – Průběh úbytků hmotností vzorků z QUV Testeru v závislosti na době expozice.....	98